*École Royale*
*des*
*Ponts et Chaussées*

*1842 – 1843*

# Notes prises par les élèves au cours de construction des ports

## Des cales.

Une cale est un plan incliné sur lequel se construit les bâtiments. Comme cette construction doit servir pour la mise à l'eau pour ce même bâtiment, on cherche à lui donner la pente pour laquelle le navire suffisamment suiffé commencerait à descendre. Cette pente est ordinairement $\frac{1}{20}$ pour les navires à vapeur, $\frac{1}{12}$ pour les bâtiments de plus fort tonnage, $\frac{1}{10}$ pour ceux d'un tonnage moyen, $\frac{1}{8}$ pour les plus petits.

Pour construire une cale quand on est sur un terrain de roche, on commence par araser le sol, suivant une pente qui varie de $\frac{1}{12}$ à $\frac{1}{10}$.

Puis on établit une série de tains (*) ou cales, dont les hauteurs soient telles que la quille du bâtiment prenne l'inclinaison convenable en s'y appuyant (fig. 1). Lorsque le sol ne peut être arasé, on établit un grillage formé de pièces parallèles à la rive sur laquelle on pose un plancher formé de pièces parallèles à l'axe du bâtiment et c'est sur ce plancher que l'on pose les tains. Enfin, quand le sol est tout à fait mauvais, on établit cette construction sur pilotis, comme cela a lieu dans les terrains vaseux de Rochefort.

Lorsqu'un bâtiment reste longtemps en chantier, et on trouve à cela un grand avantage, les bois qui ont quelques défauts se pourrissent tandis que ceux qui sont sains ne s'altèrent pas. Il n'est plus convenable d'utiliser des tains en bois, ces pièces au bout de 7 à 8 ans seraient pourries, le bâtiment tasserait inégalement et il en résulterait des inconvénients pour le bâtiment lui-même et des difficultés pour la mise à l'eau. On construit alors toute la cale en maçonnerie, mais si le bâtiment reposait immédiatement sur sa quille, comme vers le centre il est très aplati, on ne pourrait passer dessous ; il est nécessaire de laisser toujours deux tains de *0,45* qui s'élèvent assez pour que l'on puisse clouer les bordages.

*Lancement sur ber ou berceau*. - Si maintenant on voulait faire glisser le navire sur sa quille il serait presque impossible qu'il ne se déverse point d'un côté ou de l'autre. Il faut donc donner de l'empattement au plan de glissement. On construit alors un berceau à *2,50* de chaque côté de l'axe de la quille, on établit une espèce de platelage en madriers jointifs de *0,10*,

(*) Mal orthographié : il s'agit de Tins, cales de carène

sur ces madriers une suite de pièces longitudinales qui portent le nom d'*anguilles*. – Sur les anguilles s'élèvent verticalement des colombiers qui portent les ventrières, ce sont des pièces qui suivent l'inclinaison de la paroi du bâtiment et qui le soutiennent directement. Outre le berceau, le bâtiment est soutenu par de grandes épontilles. — (fig. 2).

Comme le bâtiment tend à écarter les côtés du berceau, les cours d'anguilles sont réunis par des tirants en fer. Les deux ventrières étaient autrefois réunies par des câbles appelés *roustures* qui passaient sous la quille. C'était au moyen de ces câbles qu'on enlevait le bâtiment de dessus les tains au moment de la mise à l'eau. On les tendait fortement et on les mouillait ensemble. Elles se raccourcissaient et soulevaient le bâtiment. Comme ces câbles étaient toujours perdus, qu'il y en avait pour 30 à 40.000 [fr], on y a renoncé. On assujettit le ber avec des contrefiches et on emploie deux cours d'anguilles superposés. Pour enlever le bâtiment, on chasse à la fois sur toute la longueur du bâtiment des coins entre les deux anguilles, le berceau se soulève d'une seule pièce avec le bâtiment. On abat les épontilles et on coupe le câble qui attache l'extrémité de l'anguille à une bitte ou poteau bien fixe (fig. 2).

Les grands bâtiments se lancent seuls avec un ber. Une fois dans l'eau le ber tourne et vient flotter. Pour un bâtiment de faible tonnage, une corvette par exemple, on la fait glisser sur sa quille pour l'empêcher de se déverser à droite ou à gauche. On fixe sous la partie la plus aplatie deux pièces longitudinales dites *fourrures*, très peu élevées au dessus du sol et qui portent immédiatement dès que le navire penche d'un côté ou de l'autre. Pour des bâtiments plus fins, au lieu d'employer des fourrures, on cloue des béquilles serrées avec des coins qui réunis à leur extrémité inférieure par une petite fourrure peuvent porter sur des *coëttes* longitudinales. (fig. 3)

Comme on lance presque toujours les vaisseaux dans des rivières ou des bassins peu larges, si on abandonnait le bâtiment à sa vitesse, il irait se briser sur la rive opposée. On ralentit à chaque instant sa vitesse au moyen d'un fort câble de 0,20 plusieurs fois contourné, dont les spires sont rattachées deux à deux avec de vieux bouts de câble, pour que le gros câble se tende. Il faut qu'il rompe successivement tous les noeuds et cet effort suffit pour retarder suffisamment le bâtiment. Un vaisseau à trois ponts pour lequel on fait toujours 15 à 16 noeuds n'en casse jamais que 10 ou 12.

S'il arrivait que la cale cessât brusquement au quai, comme l'arrière du bâtiment qui entre le premier à l'eau est très mince, il ne déplace pas un volume d'eau suffisant pour être supporté et il a une tendance à se séparer du bâtiment, on dit alors qu'il *s'arquerait*.

Supposons maintenant l'arrière suffisamment entré et porté par le liquide l'avant ne l'étant pas encore. Il y aura un autre effet, l'arrière se soulevant, le bâtiment tendra à s'ouvrir en son milieu et la quille se *contr'arquerait*. Cette dernière circonstance serait très à craindre pour un navire à vapeur que l'on lancerait avec sa machine. On obvie au premier des inconvénients signalés plus haut, en prolongeant la cale d'une quantité suffisante pour que le bâtiment ne cesse pas d'être supporté avant d'avoir dépassé un volume d'eau suffisant. Quant

au deuxième danger il n'y a moyen de l'atténuer qu'en atténuant le plus possible la pente et en cherchant à faire entrer le navire par tranches horizontales.

Les avant cales servent aussi pour remettre un bâtiment sur le chantier ; elles prennent alors le nom de *cales de halage*. On a dans cette opération à vaincre la résistance due à la composante du poids plus le frottement, or en admettant que l'inclinaison de la cale soit telle que le frottement fasse juste équilibre à la composante du poids, on aura en somme à surmonter le double de la composante du poids. En employant des rouleaux, ou un chemin de fer, on diminue le frottement, mais en tous cas, dans l'évaluation de la force à exercer il vaut mieux être en dessus qu'en dessous de la vérité.

Pour cette opération, on employait des cabestans simples à chacun desquels on mettait 60 hommes ; on se servait alors de cordes, mais à cause de leur élasticité le bâtiment ne montait que par secousses. Il en était de même pour une chaîne de fer non soutenue en formant chaînette ; l'emploi des cabestans à empreinte sur lesquelles viennent se prendre successivement les anneaux de la chaîne est préférable, les chaînes dont on se sert sont faites avec du fer de 0,045 de diamètre. Elles peuvent supporter sans se rompre 30 tonneaux. Comme on ne peut avec ces chaînes former un palan, on emploie un cabestan à engrenage, l'arbre en fonte qui porte les empreintes porte une roue également en fonte de 1,00 de diamètre, qui a des dents de 0,15 à 0,20 de hauteur et 0,05 d'épaisseur à l'extrémité ; cette roue est menée par un pignon de 6 dents, en fer forgé ou en bronze. C'est à ce pignon qu'on applique directement les barres ordinaires du cabestan, 48 hommes, marchant avec une vitesse de 0,50 pour exercer un effort de 30 tonneaux. Il est préférable d'employer une machine à vapeur, cela assure d'abord la régularité du mouvement et permet en rendant les treuils horizontaux, de placer plus facilement les chaînes dans les puits destinés à les recevoir.

*Construction des Avants-Cales*. Dans l'Océan, où il y a le phénomène de la marée, on construit les avants-cales comme des cales en ne travaillant que par marées.

Dans la Méditerranée, où les différences de niveau causées uniquement par la direction variable du vent ne sont guère que de 0,60 à 0,80. Il faut employer pour les avants-cales le mode suivi pour les autres constructions hydrauliques. Les anciennes avant-cales étaient entièrement construites en bois. On commençait par battre deux files de pilots distantes de 8.00 dans la direction de l'avant-cale, les pilots sont à 1.00 d'axe en axe. On établissait un plancher parallèle à la surface de l'avant-cale à établir et on recépait tous les pieux de manière à ce que leurs têtes se trouvent dans le plan de l'avant-cale, on se sert pour cela d'une scie oscillante très simple. Pour se procurer un axe fixe on se sert des montants de la sonnette qui a servi à battre les pieux, autour de cet axe fixe, on fait osciller une tige fixée à la traverse d'une scie ordinaire, on fait osciller la scie au moyen de deux cordages attachés aux deux extrémités de la lame (fig. 4). Quand on a 15.00 de rayon on obtient avec cette scie qui ne coûte que $60^{fr}$ des résultats que l'on ne pourrait attendre d'une scie circulaire qui, fixée en un seul point, se déplace facilement.

On garnit l'intervalle des pieux avec un simple moellonnage. Pendant ces opérations on prépare dans un chantier à terre un grillage ou double plancher formé de pièces jointives de 0,20 à 0,25 placées dans les 2 sens, on a eu soin de disposer l'atelier ou de construire ce grillage de manière à pouvoir y faire entrer l'eau et à le faire flotter ; on l'amène ainsi au dessous de la place qu'il doit occuper. — On a eu soin de se procurer un plan exact de la tête des pieux pour préparer d'avance avec une tarière les trous destinés aux chevilles. Le plancher une fois établi au dessus des pilots, on l'échoue en le guidant avec soin, et avec un chasse-pieu et une petite sonnette, on enfonce des chevilles barbelées qui le fixent aux pilots ; on a soin que les têtes de ces chevilles ne soient point en saillie.

Pour relever le plan des pieux, on se sert d'un instrument formé d'un tube en fer blanc terminé par trois branches. Du haut de l'échafaud on peut le placer de manière que ces trois branches embrassent la tête d'un pieu, on enlève le tube et on se procure ainsi pour chaque pieu une tige sortant de l'eau, on peut lever le plan avec toute facilité (fig. 5).

Une avant-cale construite ainsi en bois de sapin coûte de 3 à 400$^{fr}$ le mètre courant mais elle a le grand désavantage de ne durer que peu de temps, au bout de 2 ou 3 ans elle est rongée complètement par les *vers tarets*. Ces vers n'attaquent pas les parties enfouies, ils détruisent surtout les parties qui sont alternativement à l'air et à l'eau. Les Hollandais ont employé avec succès le *mailletage*. Cette opération consiste à enfoncer dans le pieu une grande partie de clous très minces et à large tête de façon à recouvrir complètement la surface du pieu, mais elle a l'inconvénient d'être dispendieuse et ensuite d'augmenter beaucoup le poids de ces constructions. Un cuir mince cloué sur le pieu avec des pointes de Paris réussit très bien, enfin on a employé à Lorient le ciment de Pouilly. On a hérissé le pieu de pointes que l'on n'enfonçait point, puis on l'a entouré d'un manchon de ciment de 0,03 d'épaisseur qui a parfaitement défendu le pieu. — Un Anglais a proposé récemment l'emploi d'une *colle marine*, très propre, dit-il, à ces usages mais qui encore aurait la propriété de faire adhérer des portions de bois détachées, de sorte que l'on pourrait former à volonté des pièces de tel équarrissage en de telles longueurs qu'on voudrait.

Malgré cela il y a toujours avantage à construire une avant-cale en béton, elle coûte à peu près 1000$^{fr}$ le mètre courant mais elle peut durer indéfiniment.

On a construit quelques avant-cales avec de grands batardeaux que l'emploi des bétons a fait disparaître. Généralement le terrain n'est pas assez mauvais pour que l'on soit obligé de piloter partout et de couler du béton entre les pilots. Il n'y a qu'à Rochefort où cette précaution a dû être prise. — Quelquefois aussi on se contente de répartir la pression sur une plus grande surface au moyen d'une couche de sable à laquelle on donne un empattement égal à la hauteur de la maçonnerie à établir. Le plus souvent on se contente de draguer les parties molles.

Après avoir dragué soit avec des machines à cuiller soit avec des machines à hotte, ou bien à droite et à gauche et à 4.00 de l'axe des rampes de pilots espacés au plus de 3.00 d'axe en axe. Comme il serait difficile d'établir un échafaud sur ces deux files de pieux espacés de 8.00, ou bien en dehors de chacune de ces rampes deux autres rampes à 3.00 ou 2.50 de

distance, chaque couple est ensuite uni au moyen d'une double *moise* sur lesquelles on établit un plancher serré avec des vis à bois.

Comme ces pieux ont une assez grande hauteur au-dessous du sol, il est nécessaire de les contreventer quand ils sortent beaucoup au-dessus de l'eau, on pose une contrefiche entre les pieux.

Dans le cas contraire on prépare d'avance un châssis avec une croix de S$^{t}$ André que l'on chasse entre les pieux et que l'on assujettit avec des coins.

Outre cela on réunit les deux échafauds longitudinaux par quelques traverses de 8,00 destinées à augmenter la rapidité. – (fig. 6)

On coule alors entre les pieux un béton grossier ; pour l'épargner on jette quelques gros blocs en ayant soin qu'ils ne se touchent point. Lorsque l'on est arrivé à 0,20 ou 0,25 du plan que l'on veut avoir on coule un béton fin, on n'y fait entrer que des cailloux roulés, ordinairement des quartz de 0,01 au plus et passés entre deux cribles, l'un fin et l'autre gros pour séparer les poussières et les pierres plus grosses.

Ces coulages de béton se faisaient avec de grandes trémies portées sur un châssis glissant sur les échafauds. Ces trémies avaient 0,40 à 0,45 en haut et 0,25 en bas. Elles s'engorgeaient facilement. On a essayé de les remplacer par des trémies coniques dont la grande ouverture était en bas (fig. 7). Il est arrivé que le corps tronqué du béton se séparant tout d'une pièce de la trémie ne la remplissait plus dans la section plus large et que l'eau s'y précipitait avec une violence extraordinaire en délavant le béton. On est donc arrivé à la forme cylindrique ou prismatique. Mais on conçoit que le grand volume de ces trémies était un autre grave inconvénient ; en effet elles avaient 8,00 de large, 7,00 de profondeur et 0,20 d'épaisseur, il fallait donc 17 à 18 mètres cubes pour les remplir. Or avant de pouvoir la faire glisser d'une manière continue sur les 2 plans inclinés il fallait la remplir en partie et le temps que l'on mettait à cette opération n'était jamais assez court pour que le béton de la partie inférieure ne tardat pas à se cailler. Pour empêcher les parois de la trémie de se déranger on les réunissait par de petites cloisons minces de 0,03 à 0,04 et qui n'existaient pas dans le bas pour ne pas diviser le béton.

On a remplacé la grande trémie par deux trémies contiguës portées par un seul châssis. Ce châssis glisse transversalement sur le grand que l'on fait mouvoir sur les 2 rampes. Ces 2 mouvements se font au moyen de *vireveaux*. On met deux trémies au lieu d'une seule, parce que les haubans qui les assujettissent, les empêcheraient d'approcher des bords de l'avant-cale. (fig. 8)

Quand pour le grand châssis on ne peut se procurer des pièces de 0,50, il faut les armer. – Ces armatures consistent essentiellement en pièces de fonte qui soutiennent les pieux en dessous (fig. 9).

Les anciennes avant-cales étaient recouvertes de pierres de taille, ordinairement calcaires, elles ne tardaient pas alors à se percer et à se couvrir de coquilles qui grinçaient lors

de la mise à l'eau. On a remédié à cet inconvénient par l'emploi d'un plancher formé de madriers perpendiculaires à la direction de l'avant-cale, sur lesquels on cloue des madriers longitudinaux dans le prolongement de ceux sur lesquels reposent les anguilles. Quelques temps avant la mise à l'eau, on lève ce tablier, soit qu'il soit mobile au moyen de charnières, soit que l'on se contente de la flexibilité des madriers, on le nettoie et on le suiffe et on l'échoue avec quelques gueuses.

*Couverture des cales*. Un bâtiment sur cales exposé aux intempéries de l'air serait complètement pourri au bout de douze ans ; quand les cales n'étaient pas couvertes, les ingénieurs des constructions navales employaient des toiles que l'on mettait sur le bâtiment. On établissait ensuite une couverture avec des madriers cloués sur le bâtiment lui-même.

On a construit à Rochefort des cales couvertes en bois. La figure 10 indique les principales pièces de bois employées. Le toit est couvert avec de petites tuiles cuites écaillées, percées d'un trou, et que l'on cloue sur les voliges allant d'une ferme à l'autre. Quelques cales ont été couvertes avec des bardeaux mais ils doivent être enduits et peints. On emploie maintenant le zinc ou la tôle *galvanisée* ou zinguée. Ces tôles ont des avantages très marqués sur le zinc, d'abord le prix de ce dernier métal s'est de beaucoup augmenté, ensuite il brûle avec la plus grande facilité et en cas d'incendie une couverture disparaît immédiatement. Les procédés donnés par M. de Ruolz pour l'application des métaux les uns sur les autres ont facilité encore l'emploi de la tôle zinguée. Ces couvertures en tôle sont très légères et doivent être attachées avec beaucoup de soin, sans quoi elles seraient enlevées par le vent.

Aux cales isolées on préfère maintenant les cales en groupe. Elles présentent cet avantage qu'une série de supports sert pour deux cales. On construit à Toulon 15 cales couvertes disposées en trois groupes de cinq chaque. Les parties extérieures doivent être faites en maçonnerie, car en bois elles se pourriraient trop vite. Les Anglais ont construit des cales couvertes contiguës où tout le chantier est à l'abri de la pluie (fig. 11).

## Des ports en général.

Les travaux maritimes ont pour objet la construction des ports, leur entretien et la défense des côtes contre la mer, surtout dans les contrées ou a lieu le phénomène de la marée.

Les ports désignent une localité dans laquelle les navires peuvent être construits et réparés où ils se trouvent à l'abri des agitations de la mer et des attaques de l'ennemi. – On distingue les ports militaires et les ports du commerce, le but que se proposent ces deux genres de ports est essentiellement différent, par suite il en est de même de leurs conditions d'emplacements. Pour un port militaire il faut un cap, une saillie, d'où l'on puisse voir l'ennemi et s'élancer à sa poursuite dans presque toutes les directions, car pour une guerre maritime, le succès dépend souvent de la possibilité d'attaquer le premier. Pour un port marchand, au contraire, il faut un emplacement tel qu'en le quittant on soit le plus vite possible dans

l'intérieur du pays, que de plus les communications avec le pays soient faciles ; une anse profonde satisfait parfaitement à la première de ces conditions ; si, de plus, dans cette anse il y a l'embouchure d'un grand fleuve, on réunit les conditions essentielles du port marchand. Ainsi des marchandises partant de Brest eussent été obligées de parcourir par terre un trajet long et coûteux, tandis que du Havre, de Rouen, de Nantes elles arrivent immédiatement à de grands centres de population. Quelques autres ports, appelés ports de refuge, sont destinés à peu près uniquement à offrir un abri aux bâtiments soit après une tempête, soit après un combat naval.

Pour qu'un port militaire ou de commerce soit complet, il faut qu'il contienne tous les établissements nécessaires à la construction et à la réparation des navires, il doit présenter des issues faciles à franchir dans tous les temps, ces issues doivent toujours avoir une profondeur d'eau suffisante et à l'abri des atterrissements ; enfin dans un port les navires doivent n'avoir rien à craindre des mouvements de la mer et des surprises de l'ennemi.

Les établissements nécessaires aux constructions des navires peuvent être établis dans presque toutes les localités, mais le calme, la profondeur d'eau, la facilité d'entrer et de sortir à tous vents sont bien souvent des conditions difficiles à concilier. Avant d'entrer dans l'examen de ces conditions il faut chercher à se rendre compte des phénomènes divers que présentent les mouvements de la mer.

*Des lames*. L'équilibre des eaux de la mer n'existe presque jamais. Il est troublé par diverses causes dont beaucoup nous sont inconnues. Parmi celles que nous pouvons apprécier, il y a l'évaporation et les grands affluents qui viennent de l'intérieur des terres, les attractions alternatives du soleil et de la lune et les vents.

Les vents modifient la surface de l'eau. Leur premier effet est de produire un relèvement des eaux en sens contraire de leurs actions ; ainsi dans la Méditerranée quand le vent vient d'Afrique, le niveau sur les côtes de France s'élève de 0,50 à 0,60. La mer en s'inclinant ainsi ne reste pas unie, il se produit des ondulations ou vagues sur la portion supérieure à l'ancien niveau des eaux tranquilles. La partie inférieure du flot se nomme le creux ; ce sont ces vagues qu'il est nécessaire d'étudier, car c'est de leur action que l'on a à se défendre sur les côtes.

Le mouvement de translation que semblent présenter les vagues n'est qu'apparence. Un corps flottant de densité presqu'égale à celle de l'eau ne change pas sensiblement de place. On a, pour expliquer ce phénomène, présenté plusieurs hypothèses. Brémontier a supposé que les molécules qui composent une onde montent et descendent verticalement et siphonnent continuellement les unes avec les autres. ; par suite un corps flottant monte et descend verticalement, si le mouvement n'a pas lieu tout à fait suivant la verticale. Ce dérangement serait dû à l'action de la pesanteur sur la partie en dehors du liquide qui ferait descendre le corps comme sur un plan incliné, et l'amplitude de l'oscillation verticale du corps flottant serait la même que celle de la lame.

*Mouvement orbitaire des lames*. Un corps flottant soumis à l'action des lames ne se meut pas comme l'indique cette théorie de M. Brémontier. Si du rivage on observe attentivement une boule flottante dans un endroit où les vagues se succèdent bien régulièrement, on voit que dans la partie flot, elle se meut vers la terre comme si son mouvement était dû au vent et dans le creux vers le large ; de ces deux mouvements, puisque le corps n'a pas de mouvement de translation, on arrive évidemment au mouvement orbitaire des molécules liquides.

M. le colonel Emy a repoussé la théorie de Brémontier. D'abord la cause assignée à la descente du corps flottant le long de la lame ne peut être admise, et même pour cette cause il devrait remonter, car on sait qu'un corps léger et mouillé par l'eau, plongé dans un vase contenant autant de liquide que possible posé près du bord, remonte au sommet. Ensuite l'eau est incompressible. Il faut donc admettre que ce mouvement d'oscillation verticale se transmet sans altération jusqu'au fond de la mer.

Il est difficile de penser que le plus léger vent suffise pour ébranler une masse d'eau aussi considérable. Il est beaucoup plus probable que l'agitation des eaux ne se fait sentir qu'à une faible profondeur, et qu'il existe un plan qui n'est pas troublé. Imaginons un plan parallèle à la direction du vent et soit *c d* sur ce plan la trace du plan immobile, *a b* le niveau de l'eau tranquille. Partageons le volume total en volumes prismatiques égaux par des plans perpendiculaires au plan de la figure. Supposons que les lames se forment et qu'elles soient arrivées à une longueur uniforme, et considérons ce qui doit se passer entre les sommets de deux creux consécutifs. Il ne peut y avoir d'altération que dans la forme et non dans le volume de la masse fluide, et au sommet du flot. Par exemple, la tranche *NN′ x y* (fig. 12) deviendra *NN′ u u′* mais comme il faut qu'il y ait continuité, les tranches voisines s'inclineront sur *NN′ u u′* ; or le sommet du flot, avant de s'être trouvé sur *NN′ u u′* s'est trouvé sur les tranches à gauche et il se trouvera bientôt sur les tranches à droite, donc la tranche qui a pour base *NN′* a commencée par s'incliner vers la gauche en prenant les formes des tranches maintenant à sa droite, puis elle s'inclinera de l'autre côté en prenant les formes des tranches qui sont à sa gauche ; donc si on voulait avoir les positions successives *NN′* les formes de toutes les tranches 9, 8, 7, ... 3, 2, 1 et leur succession indiquerait le sens de la marche de la molécule. On voit donc que chaque molécule a un mouvement orbitaire, et qu'elle va dans le sens du vent dans la partie flot, en sens contraire dans le creux.

Newton a supposé le mouvement d'oscillation des molécules fluides verticales, mais il a reconnu que cette hypothèse n'était faite que dans le but de simplifier le calcul et que réellement il fallait admettre que le mouvement de ces molécules était *per circulum*.

*Modifications apportées aux lames par un obstacle*. Quoiqu'il en soit, que les molécules des ondes se meuvent verticalement ou non, l'important est d'étudier les effets de ces ondes et les moyens que l'on peut employer pour empêcher leurs propagations.

Lorsque le vent commence à régner en surface, l'eau se ride, il se produit des sillons faibles et rapprochés, à mesure que le vent s'élève, si la profondeur est suffisante, la longueur des vagues augmente et le vent demeurant constant elle atteint une longueur uniforme.

Lorsque l'onde rencontre un obstacle, un plan incliné, sa longueur diminue et sa hauteur augmente, si le plan est très incliné, la vague diminue petit à petit et arrive à rien. Les Hollandais ont établi sur ce fait des ouvrages de défense efficaces, au moyen de dunes en sable inclinées à $\frac{1}{20}$ et recouvertes de clayonnages de paille pour que le sable ne soit pas enlevé.

Si l'obstacle est vertical et s'il n'a pas la hauteur de la vague, l'ondulation diminue de longueur, augmente en hauteur et franchit l'obstacle, mais si l'obstacle est indéfini en hauteur, l'ondulation arrive pleine et entière et se relève presque verticalement. Le long de l'obstacle une partie des molécules forment plan incliné sur lequel glissent toutes les autres, il y a écoulement complet de la partie supérieure de la lame, la hauteur à laquelle s'élève l'eau est d'autant plus grande que la lame a été plus longue, en tous cas elle est beaucoup plus grande que la hauteur due à la vitesse du liquide.

L'eau ainsi levée à une hauteur considérable le long de l'obstacle retombe dans la mer et produit ainsi une nouvelle onde appelée *onde de retour*, *onde de réflexion* ou *ressac*. Comme l'eau est un corps incompressible, il est beaucoup plus probable que le ressac est produit bien plutôt par la *chute* d'une partie de la lame écoulée déjà, sur la lame qui arrive, que par un retour, une réflexion sur un plan, le liquide est assimilé à un fluide élastique.

Quand la lame se meut entre deux plans verticaux et que le fond est horizontal, il n'y a pas d'altération sensible, les lames sont parallèles (fig. 13). Mais si le fond se relève, la lame s’infléchit (fig. 14) et tend à prendre la forme des courbes horizontales du terrain. Les lames sont alors de plus en plus rétrécies vers le cap, tandis que dans l'anse elles s’allongent beaucoup et arrivent presqu'horizontalement à la rive.

Si les lames arrivent dans un grand bassin par une ouverture étroite, comme on peut regarder le cube de chacune d'elles comme constante (on ne peut démontrer ceci, mais il semble évident que, la force qui produit l'oscillation du liquide étant constante, le cube du liquide agité doit être le même, en négligeant l'influence des côtes et tous autres frottements) la largeur augmentant beaucoup il en résulte que la hauteur diminue de telle sorte que par le seul moyen d'un chenal étroit on peut avoir le calme dans un grand bassin.

Si au contraire les lames arrivent dans un rentrant, la largeur diminue et la hauteur augmente considérablement, si bien qu'au fond des lames qui à l'entrée n'avaient que 1.00 de hauteur atteignent 14 et 15.00.

*Brises lames*. Entre des lames successives il semble qu'il y ait une adhérence complète dans le fluide, à un tel point que si on détruit cette adhérence au moyen de clairvoies, de digues à joues, presque toute l'agitation disparaît derrière ces palées. On a pu ainsi arriver à n'avoir, dans un chenal conduisant au bassin d'un port, qu'une très faible partie de l'agitation qui, sans ces dispositions, eût pu être considérable (fig. 15).

L'agitation des vagues n'est pas la seule chose dont il faille se garantir dans un port, il se produit en certains endroits de la mer des atterrissements considérables ; il importe donc essentiellement d'étudier les causes de leur formation et les moyens de les prévenir si cela est possible. Ce phénomène des atterrissements lié à celui du mouvement des vagues, dépend aussi de l'existence de certains courants qui règnent dans les mers et dont les causes sont souvent inconnues.

*Des courants*. Les courants sont de deux espèces, généraux ou limités. À l'embouchure des fleuves et rivières il se produit des courants dus à l'arrivée de leurs eaux dans la mer, mais outre cela il existe de grands courants généraux qui, dans l'océan, paraissent dépendre du phénomène des marées. Dans la mer Méditerranée il existe un courant littoral dont la cause n'est pas bien connue. Il ne se fait pas sentir à plus de $3000^{m}$ des côtes et se manifeste dans les anses. Il va d'Occident en Orient. Sur les côtes d'Afrique en sens inverse, sur celle de France partout de gauche à droite en regardant la mer ; sa vitesse ne dépasse pas 0,07 à 0,08 par temps calme, elle atteint $0^{m},50$ par certains vents ; à lui seul il serait incapable de transporter des galets et même du sable.

Considérons un courant marchant entre deux plans verticaux sur un fond très peu incliné. Si l'on élargit brusquement la section, le mouvement n'a plus lieu sur toute la longueur par filets parallèles, le courant sortant du canal étroit entraîne avec lui les molécules liquides qui étaient en repos dans les rentrants et il s'y forme deux remous. La position de ces remous est dans chaque cas important à considérer, parce que si le courant transporte des graviers ils se déposent toujours aux endroits où se manifestent ces tourbillonnements. Si au lieu de s'élargir le canal se rétrécit brusquement, le niveau du liquide se relève et il y a une contrepente, les filets liquides pour entrer dans le canal étroit s'infléchissent, et il y aura deux remous dans les angles, de plus par suite de la direction même de ces filets on rentre dans le cas de l'élargissement de section et il se forme des remous à l'endroit de la contraction du fluide.

Le phénomène de la contrepente observé par M. Bidone dans les canaux artificiels se produit sur une très grande échelle dans le cas de la marée venant du large en entrant dans un bassin étroit.

Supposons un courant arrêté brusquement par un barrage indéfini en hauteur. Il se produit immédiatement un gonflement devant le barrage. Ce gonflement se propage en sens inverse du courant, et les molécules liquides restent en repos absolu immédiatement après ce relèvement. Si l'obstacle est assez peu élevé pour que le courant puisse le franchir, il se produit d'abord un gonflement comme précédemment, puis le niveau s'abaisse brusquement en aval et se relève ensuite, c'est le phénomène du ressac.

Au lieu d'un courant et d'un obstacle solide, supposons que deux courants se rencontrent, si ces deux courants vont en sens contraire, à l'instant de la rencontre tous deux s'élèveront et, s'ils sont égaux, le gonflement marchera sur chacun d'eux à partir du point de rencontre

comme dans le cas d'un obstacle indéfini, et toute la masse se mettra en repos à mesure que ce gonflement se produira.

Si l'un des deux courants est supérieur à l'autre, il y aura relèvement de chaque côté à leur rencontre, marche du gonflement en sens contraire du courant et toute la masse marchera dans le sens du courant le plus fort.

Supposons un courant allant le long d'une côte et passant devant une crique où le niveau de l'eau est plus bas, le courant n'entrera pas immédiatement dans la crique, il la dépassera et reviendra ensuite ; il se formera un remous en *a b* (fig. 16).

Si un courant, longeant une côte est rencontré par un autre courant venant de l'intérieur des terres, ce deuxième courant s'infléchira et il y aura remous en *a b* (fig. 17).

Si un courant sortant de l'intérieur des terres arrive dans un bassin tranquille, il se forme deux remous latéraux (fig. 18).

Enfin si un courant rencontre une île, il se formera deux remous latéraux et un atterrissement à la tête de l'île.

*Des marées.* La marée est le mouvement périodique d'ascension ou de descente des eaux de la mer.

Le mouvement d'élévation qui constitue la marée montante porte le nom de *flux, flux montant*. Le mouvement d'abaissement qui forme la marée descendante se nomme *Ebbe, jusant, reflux*. La mer monte et descend deux fois environ dans 25 heures. Ces mouvements de la mer sont dus aux positions relatives des astres.

Le niveau des hautes et basses marées varie chaque jour, plus la mer s'élève lorsqu'elle est haute, plus elle descend dans la basse mer suivante et elle emploie toujours à peu près le même temps, environ $6^h$ 12'. C'est aux époques des *syzygie*, c'est-à-dire des pleines et des nouvelles lunes que ces mouvements sont les plus grands, et c'est dans les *quadratures* qu'ils ont le moins d'amplitude. Les marées des *syzygies* sont dites *hautes* et *basses marées de mortes eaux*.

Les vives et mortes eaux des différents mois lunaires ne s'élèvent pas à la même hauteur ; les vives eaux les plus hautes et les mortes eaux les plus basses ont lieu vers les équinoxes, et l'effet contraire a lieu dans les temps des solstices.

On appelle marée totale d'un jour la demi-somme des hauteurs de deux pleines mers consécutives au-dessus du niveau de la basse mer intermédiaire. À Brest la moyenne résultante d'un grand nombre d'observations est 3,21. Ce nombre est pour ce port l'unité de hauteur. L'annuaire du bureau des longitudes donne cette unité pour huit ports depuis Dieppe jusqu'à Lorient.

En pleine mer la haute marée retarde de 36 heures sur le passage de la lune au méridien. Dans les ports, la diversité de la forme des côtes retarde encore plus ou moins

l'heure de la haute mer, le jour de la nouvelle lune, mais pour chaque port cette heure est constante, elle s'appelle *établissement du port* ; cette heure est donnée pour chaque port dans l'annuaire des longitudes.

Si la terre était un noyau solide entouré d'eau, il n'y aurait partout qu'un seul courant marchant dans le même sens, ce courant a lieu en effet dans les grandes mers où il n'y a pas d'obstacles, aussi dans les criques dans la Méditerranée les eaux ne participent-elles point à ces mouvements. Il faudrait en effet que dans l'intervalle d'une pleine mer à la basse mer, la crique eût le temps de s'emplir ou de se vider. Si on applique ces remarques à la mer Méditerranée, pour que les effets de la marée s'y fassent sentir, il faudrait qu'il passât un volume d'eau énorme par le détroit de Gibraltar, et si l'on calcule ce volume et la section de ce détroit on trouve une vitesse impossible. Aussi dans la Méditerranée les différences de niveau dues aux marées ne sont-elles que de quelques centimètres.

Les remarques générales faites sur des courants quelconques s'appliquent très bien aux marées ; on en a un exemple par ce qui se passe dans la Manche. La marée qui n'est que de $6^m8$ à Brest entre pleine et entière, dans la Manche elle trouve un rentrant vers Grandville et S$^t$ Malo, aussi dans ces ports atteint-elle $11^m5$ et $10^m5$. À la pointe de la Hague, la Manche se rétrécit considérablement ; il y a contrepente puis pente pour la marée et à Cherbourg elle n'est que de 5,6. Au Havre, dans une anse, elle redevient 7,1 puis la Manche se rétrécissant encore, la mer s'enfle vers Boulogne ou elle est 7,9 puis elle descend et il y a un écoulement vers Calais, 6,30 et Dunkerque 5,3.

*Étale* Comme toutes les quantités qui varient d'une manière continue passent par un maximum et un minimum, la mer reste toujours un certain temps haute ou basse. Le temps de la haute mer se nomme l'étale. La durée de l'étale varie dans les différents ports. À Grandville et à S$^t$ Malo, elle est très faible. Le contraire a lieu au Havre où elle dure près de deux heures, cette circonstance est un immense avantage pour ce port, car les navires, pendant un long espace de temps, peuvent facilement entrer ou sortir. Ce phénomène est attribué au courant général qui a lieu du S.O. au N.E. qui se sépare au cap d'Antifer pour entrer dans la baie de Seine et continuer vers la Somme. Le point de séparation des courants est nécessairement plus élevé que les niveaux atteints par les deux branches descendantes, la mer ne commençant donc à baisser au Havre que lorsqu'elle sera devenue plus basse que l'eau au cap d'Antifer, ce qui exigera un certain temps. Il y a en outre pendant le jusant un fait qui tend à relever le plan d'eau du côté du Havre, c'est la Seine qui se porte vers Honfleur et produira un grand remous du côté du Havre.

*Courbe des marées*. Le phénomène de la marée n'est pas celui de la production d'une grande onde régulière. Si on imagine une ligne horizontale sur laquelle on porte les temps et en ordonnée les hauteurs à laquelle l'eau s'élève, on trouve une courbe plus ou moins ondulée (fig. 19). C'est un fait analogue à celui des sons harmoniques ; on sait qu'une corde vibrante peut se subdiviser en plusieurs parties qui vibrent séparément, en même temps que se produisent les grandes oscillations. De plus on a remarqué, en étudiant avec soin les courbes

de marée, que ces oscillations secondaires se comportaient avec la grande oscillation de la même manière que les sons harmoniques avec le son principal.

*Puits de marée*. Les courbes de marée dont on vient de parler se construisent dans les puits de marée, il n'y en a encore qu'un seul à Cherbourg. L'eau pénètre dans un puits par un canal que l'on doit chercher à rendre aussi long que possible pour éviter les erreurs dues aux agitations du liquide. Dans le puits, un flotteur porte une tige avec une pointe traçante. On fait marcher une feuille de papier d'un mouvement uniforme et on a ainsi à chaque instant les hauteurs relatives du liquide. Pour éviter l'emploi d'une trop grande feuille, on peut placer sur la tige des pointes traçantes à différentes hauteurs de telle sorte que l'une commence à marquer quand l'autre quitte le papier. On peut ensuite très facilement reproduire la courbe entière.

## Des atterrissements.

Les causes des atterrissements ont été longtemps inconnues. Les premières recherches à ce sujet ont été faites en Italie, où des villes comme Venise voyaient leurs existences compromises par l'ensablement de leurs ports. Les fleuves qui se jettent dans la Méditerranée y apportent une quantité considérable de sable. Montanari a constaté que lorsqu'une rivière se jetait dans l'Adriatique, il y avait toujours un atterrissement à sa droite. En considérant la marche du courant littoral dans l'Adriatique, on voit que le remous est toujours à la droite de l'embouchure des rivières, là où a lieu l'atterrissement. Quand au lieu d'une rivière on a une lagune, l'atterrissement est toujours à gauche.

Le courant littoral de la Méditerranée à lui seul ne mettrait pas les sables en mouvement, mais l'agitation des lames soulève la couche du sable et comme elle n'influe pas sur le mouvement du courant, il s'ensuit que le courant transporte les sables toujours dans la même direction. Dès que l'agitation cesse, les sables se déposent pour se remettre en mouvement à la première agitation, mais si le calme n'est plus troublé, l'ensablement reste. De nombreux faits attestent la vérité de ceci.

Sous Richelieu on voulut faire un port au cap d'Agde. Il y avait une crique très profonde, pour produire le calme à l'entrée exposée au vent de tempête, on fit un môle de 800,00 dont la construction dura 17 ans. Mais à cette époque aussi un immense atterrissement s'était formé dans ce calme et le rivage partait de la pointe de la digue. Il n'y avait plus que 2 ou 3 petits bras par lesquels l'étang de S$^{t}$ Martin s'emplissait et se vidait.

A Sette, des circonstances analogues se sont produites. Il y avait une anse très profonde où ne s'arrêtaient pas les sables, mais qui était exposée à toute la violence des vents d'Est et de Sud-Est. On construisit en 1666 une digue pour produire le calme. Au bout de 10 ans il y avait dans le port 800,000$^{m3}$ de sable qu'il fallait draguer. Pour empêcher le port de se perdre complètement, on eut recours à des dragages annuels considérables. On eut l'idée pour arrêter

les sables de construire une seconde jetée et de couvrir par un brise-lame l'entrée des ports. Il en est résulté des atterrissements dans la passe, de sorte que, en résumé, partout où on a voulu créer du calme, il y a eu dépôts de sables.

Cette question des atterrissements, fondamentale pour l'étude des travaux maritimes, se présente sous d'autres points de vue. Les atterrissements peuvent provenir des sables apportés par les rivières ou des corrosions des rives. Il est utile d'étudier la marche de ces corrosions. Ce phénomène a été examiné sur les côtes de Normandie par M. Lamblardie. Voici quelques passages de son beau mémoire.

« La côte oppose vainement aux efforts de la mer agitée de grandes falaises de 200 pieds de hauteur. Ces falaises composées de banc de marne séparés par des couches de silex, sont sapées à leur pied par le choc des vagues ; bientôt toute la partie supérieure est en surplomb, se détache, tombe, et se brise par l'effet de la chute ; la mer achève de diviser cette masse, et les eaux se chargent de marne qu'elles ont délayée, pour en former des dépôts : le silex est roulé le long de la côte par le choc réitéré des vagues, il s'use, ses parties anguleuses se brisent, il s'arrondit, enfin requiert une forme sphéroïdale et prend alors le nom de galet. Tout ce que le silex perd de sa forme primitive en passant à celle de galet est converti par le frottement en petit gravier et en sable. Aux efforts continuels de la mer se joignent encore d'autres causes qui concourent à la destruction des falaises, des fentes presque verticales reçoivent les eaux pluviales qui filtrent à travers les terrains supérieurs. Lorsque ces fentes se trouvent parallèles à la face des falaises et que l'eau qu'elles contiennent en hiver est assez exposée aux influences de l'air pour entrer en congélation, la dilatation n'a pu que diviser : ainsi la destruction des falaises est un effet de la nature auquel l'art ne pourrait opposer qu'une vaine résistance. »

« Si l'action des vagues est inclinée à la côte, leur effet se décompose en deux autres, l'une perpendiculaire à la côte, l'autre qui lui est parallèle, le premier effet tend à détruire la falaise, le second roule le galet le long de la côte et le conduit dans les ports et dans les baies qu'il trouve sur son passage. Ainsi, toutes choses égales d'ailleurs, plus la direction des vagues serait parallèle à la côte, plus le chemin que parcourrait le galet serait considérable, mais on sent bien qu'à même force de vent, celui dont la direction est parallèle à la côte ne doit pas former les vagues les plus fortes et que, par conséquent, les vagues parallèles à la côte ne doivent pas amener le plus de galets. Lorsque la direction du vent formera avec celle de la côte un angle de 45°, le galet aura toute sa vitesse possible relativement à la plus ou moins grande force du vent. »

« L'opinion de ceux qui pensent que les galets viennent du large doit être repoussée car jamais on n'a trouvé de galets dans le creux des écueils ni dans les parcs construits çà et là le long du rivage et si le galet venait du large, il commencerait par les remplir. Nous avons observé plusieurs fois, *par le calme*, que le courant de la marée ne donnait le long de la côte aucun mouvement au galet. »

Ainsi, le galet avance le long de la côte mais il y a à distinguer deux mouvements bien séparés. Si la lame arrive oblique et qu'il y ait une grande profondeur, elle fait remonter le galet devant elle, puis elle redescend avec elle le galet suivant la ligne de plus grande pente jusqu'à ce que la lame suivante la reprenne et le replace dans les mêmes circonstances. S'il n'y a pas de profondeur suffisante, la lame fait bondir le galet. Il participe alors au mouvement du courant et il avance par bonds. Revenons aux galets des côtes de Normandie.

« Tout ce galet court le long de la côte en deux sens diamétralement opposés. Au Havre, en regardant la mer, il vient de la droite. Au Tréport, à Dieppe, à S$^{t}$ Valéry, à Fécamp, il vient de la gauche et ces deux mouvements ne sont occasionnés que par le gisement de la côte qui forme entre le Havre et Fécamp un angle saillant, à droite et à gauche duquel l'effort des vagues se décompose le long du rivage en des directions contraires. Cet angle saillant est le cap d'Antifer. La direction des vents de la partie du N.O. les plus violents et les plus fréquents qui règnent dans la Manche, le divisent en deux parties égales en sorte que le galet est obligé de s'y partager. Une portion dépasse le Havre et va former la pointe du Hoc ; l'autre portion dépasse Fécamp, S$^{t}$ Valéry, Dieppe, le Tréport et vient augmenter le territoire de Cayeux en formant la pointe de Bourdel. Le galet encombre dans sa course tous les ports qu'il rencontre dans son passage, l'excédent est roulé jusqu'aux pointes que l'on vient d'indiquer. »

Ainsi les galets marchent par l'effet simultané du courant et de la lame dans la Méditerranée, il n'y a que le vent de S.E. qui fasse marcher les galets, ils vont dans le sens du courant littoral entre Agde et Marseille. La vague peut faire marcher les galets en sens contraire du courant, quelquefois par suite de circonstances locales, la marche des galets a lieu toujours dans le même sens, ainsi ils vont toujours du cap d'Antifer au Havre, même à marée descendante, car alors le courant de la Seine forme un immense remous à droite.

Les galets ont été aussi observés dans le Golfe de Gascogne, quelques extraits d'un rapport de M. de Baudre donneront une idée de leur marche sur ces côtes.

« Devant Bayonne, les courants du large porteurs du sud-ouest au N.E., ils filent jusqu'à 4 ou 5 noeuds (le noeud représente 0,5 par 1") cette direction dépend de celle du vent et *ne change point au jusant* ; lorsque des brises du nord régulières se sont établies, les courants changent de direction et marchent du N.E. au S.O.. Au-delà du cap Féret vers la Gironde, les vents régnants approchent plus du nord et les courants qui en dépendent toujours marchent en sens inverse de celui qui a lieu dans le sud du Golfe. L'inclinaison très prononcée vers le nord de la pointe de Graves à l'extrémité de la rive gauche de la Gironde semblerait en être un indice. Ce renversement du courant qui paraîtrait s'opérer dans les passages de la Teste pourrait avoir donné naissance à la saillie de la pointe d'Arcachon et au progrès remarquable des dunes dans son voisinage. Tous les affluents à la mer sur cette côte depuis la Bidasson jusqu'au cap Féret *sans exception* s'inclinent à leur embouchure vers le sud. »

« Les lames viennent constamment de la partie Ouest, elles déferlent sur une côte qui court à peu près de S.O. au N.E. »

« Les brises du Nord sont de courte durée. Le banc de Bayonne forme dans son développement un grand arc de cercle en avant de l'embouchure de l'Adour. Il se rattache au rivage et se dessine toujours à la vue par le brisant des lames qui y déferlent simultanément. Cette ligne de brisants se lie à celle que borde la côte au pied de laquelle la lame déferle toujours avec assez de violence pour maintenir le rivage sur un talus dont la base n'est que de deux ou trois fois la hauteur et quelquefois beaucoup moins dans la partie intérieure. »

« La mer qui ne souffre que du gravier sur le bourrelet de la barre, nettoie aussi le rivage contre lequel elle bat de tout sable fin ; on n'y rencontre que du sable graveleux mêlé de très petits graviers arrondis. »

« L'intérieur de la plage n'est cependant composé que de sable très fin. Tout le fond du bassin de l'Adour jusqu'à Bayonne est aussi de sable fin lorsqu'il n'est pas vaseux ou de roche. »

« Les graviers de la barre viennent du sud. De la tour de Cordouan à la Teste, le fond de la mer est presque constamment composé de sable sans aucun mélange de gravier ; de la Teste à l'embouchure de l'Adour ce dernier devient plus fréquent sans jamais se montrer à la côte à moins de quatre-vingts à cent pieds de profondeur. De l'Adour à la Bidasson, il existe un immense plateau de rochers sous-marins. On y trouve du gravier dans un grand nombre de points sans toutefois en rencontrer à la côte. »

« En 1783 la tête de la jetée du sud était à 1169 mètres de la barre, aujourd'hui cette jetée s'en trouve considérablement rapprochée, elle n'est plus distante que d'environ 445. »

« Les grandes tourmentes, les crues extraordinaires, la direction et l'intensité des vents régnants produisent de grandes perturbations, la barre ne représente plus en apparence que des bancs isolés et épars dans tous les sens et les passes du fleuve s'y multiplient, le rivage s'avance à la mer ou recule soit sur une rive, soit sur l'autre. »

« La barre peut être considérée comme la continuation sous-marine du rivage que l'action du fleuve déprime ou repousse devant lui en éventail. Si l'action de la lame devenait accidentellement supérieure au mouvement des eaux du fleuve, le rivage reprendrait de suite à la place de la barre, la forme qu'il affecte des deux côtés de cette barre. C'est ce qui arrive à S$^{t}$ Jean de Luz dans l'intervalle d'une marée de morte eau, lorsque toutes les circonstances favorables concourent à cet effet ; alors la masse des alluvions de la barre est lancée successivement par l'impétuosité de la lame entre les jetées hautes dont elle comble l'intervalle quelquefois sur plus de 80.00 de longueur jusqu'à leur couronnement. Ce n'est que quand la mer est calme et qu'elle permet d'approcher de cet énorme batardeau, qu'à l'aide d'espèces de charrues, on ouvre une petite cuvette pour donner un commencement d'écoulement aux eaux de la cuvette. La chasse de ces eaux qui se sont gonflées pendant le temps de la retenue achève bientôt l'ouvrage et la barre vient se rétablir dans sa position habituelle. »

M. le colonel Emy suppose que les galets viennent du large et il cherche les preuves de cette opinion dans des circonstances qu'il a cru reconnaître où le mouvement de translation apparent des lames se transformerait en mouvement réel, il suppose une profondeur telle que le mouvement oscillatoire puisse avoir lieu en toute liberté et que tout à coup le fond se relève brusquement et que le mouvement oscillatoire soit empêché. M. Emy suppose alors que les tranches horizontales supérieures à ce fond continuent à se mouvoir comme précédemment mais qu'alors les masses fluides comprises entre le sol et la dernière lame, pressées par cette lame contre le sol, fuient devant elle avec une vitesse égale à la vitesse apparente du flot. Il se forme ainsi un courant sous-marin que M. Emy appelle *flot de fond* et qui roule le galet à la côte. Or si une semblable masse de liquide venait se déverser à la côte, il devrait évidemment se former à la surface un remous, un contre-courant terrible et rien ne prouve l'existence de ce courant. De plus si on jetait dans la mer une masse de densité peu supérieure à celle du liquide, elle serait presque instantanément rejetée à la rive or rien de cela n'a lieu. Enfin si les flots de fond existaient pourquoi ne trouverait-on pas de galets dans les parcs situés à peu de distance des côtes. Si enfin les sables venaient du large et étaient amenés par les flots de fond, comment expliquer que sur 100 lieues de côtes on aurait constamment des atterrissements et que ces atterrissements cesseraient brutalement sur une longueur presque égale.

M. Mercadier a étudié les faits résultants de la coexistence d'un affluent et d'un courant littoral, il a constaté comme Montanari l'avait fait avant lui que lorsque le courant littoral passait devant une lagune, l’alluvion était à gauche de la lagune, lorsqu'il passait devant une rivière, l’alluvion était à droite. Nous avons vu qu'un courant passant devant une crique n'entrait point perpendiculairement au vide à remplir, qu'il se détournait et entrait obliquement. Il se forme bien alors une alluvion à gauche de la lagune, puis cette lagune se vidant, les eaux tendent à s'écouler suivant la ligne de plus grande pente, elles se creusent un canal dans l'alluvion formée et il se forme alors une île à l'embouchure de la crique. Si au lieu d'une lagune on a une rivière amenant des sables, s'il n'y a pas de courant littoral, il se forme deux îles réunies par une barre. S'il y a courant littoral, il y a remous et atterrissement à droite. Cet atterrissement augmentant continuellement si le phénomène des marées a lieu, la rivière venant alors à se jeter dans la mer coupe l'atterrissement et il semble qu'il y ait atterrissement à gauche. M. Mercadier a conclu que là où il y avait remous les sables se déposaient, que par conséquent en les traversant par un courant on empêcherait ces dépôts.

Or un courant ne peut empêcher les alluvions ; en effet la presqu'île de Gien près de Toulon était certainement une île autrefois et il y avait courant entre elle et la côte, cependant les sables roulés par le Gapeau se sont tous déposés à la droite de cette rivière sous l’abri formé par cette île et l'ont réunie à la rive. Le courant a longé alors l'Île de Gien et en la dépassant il s'est formé un grand remous et un nouvel atterrissement derrière l'Île de Gien. Ces deux atterrissements enferment aujourd'hui un grand étang qui ne peut manquer d'être comblé plus tard. Pareille chose s'est passée à l'entrée de la rade de Toulon et ce que l'on appelle les *sablettes* est évidemment un atterrissement fermé à l’abri de la petite île quoiqu'il y eût courant entre elle et la rive.

L'existence de ces atterrissements entre la rive et les îlots peut répondre aussi à l'hypothèse de M. Emy, car s'ils venaient du large ils seraient à l'extérieur et non-pas constamment sur la rive intérieure. Comment alors expliquer la marche des sables autour des îles, marche qu'il faudrait nécessairement admettre : et bien plus on connaît la nature de ces atterrissements, la côte depuis le cap Cepe jusqu'aux sablettes est du grès et il n'y en a pas que là ; or tout le sable des sablettes est du grès. Il est donc très rationnel d'attribuer cet atterrissement à la destruction de la côte en amont (relativement au courant) et au transport du produit de cette destruction le long de la côte. Il en est de même des 2 atterrissements derrière l'Île de Gien, ils proviennent de la rivière du Gapeau. En examinant avec soin la nature des sables pris dans la rivière et sur les atterrissements on trouve identité parfaite.

On peut donc dire que quand il y a agitation le courant conduit les sables, mais dès qu'il n'y a plus agitation les sables se déposent.

M. de Fazis, inspecteur général des travaux maritimes du royaume de Naples a proposé l'emploi des môles à joue comme quelques anciens môles construits par les Romains pour combattre les atterrissements. On peut lire dans les annales une traduction de son mémoire. Mais les môles à joues produisent ou non le calme dans un port. S'ils ne produisent pas le calme, ils sont inutiles, s'ils le produisent, il faut absolument que les sables s'arrêtent.

En résumé, il faut renoncer à empêcher les sables de se déposer si on veut avoir du calme et pour l'emplacement d'un port il faut choisir des localités où il ne passe pas de sable ou se résoudre à draguer continuellement. Généralement les caps présentent des localités convenables. Il n'y a pas d'alluvions au cap d'Antifer tandis qu'il y en a des deux côtés. À Cherbourg, à l'extrémité d'une péninsule granitique, il n'y a pas de sable, il en est de même pour Alger. Entre Toulon et Marseille, il n'y a pas de rivières apportant beaucoup de sables, il y a peu ou point d'atterrissements du Rhône à Collioure, au contraire partout des sables, la présence de la vase est un bon indice de l'absence des sables. Si l'on était forcé de construire un port dans une rade sujette à s'ensabler, il faudrait mettre le port sous le vent de manière que les atterrissements ne l'atteignent que le plus tard possible. Ainsi le port d'Antibes était-il bien tracé.

Ce qu'il importe surtout, c'est que les atterrissements ne se déposent point dans la passe, comme il arrive à Cette ; il faut alors créer une place où se déposera le sable, c'est-à-dire former un parc aux sables. On aura, il est vrai, à le draguer continuellement, mais on pourra le faire quand on le voudra, on pourra attendre que le sable soit à 1.00 au-dessous du niveau des eaux, ce qui sera toujours plus commode que de draguer dans une passe où il y a 5 à 6 mètres d'eau ; et la navigation ne sera pas entravée pendant ces dragages. À Cette, il faudrait crever la jetée de Fontignan du côté de la terre et l'incliner sur la rive. Le parc aux sables se ferait très bien à l'abri de ce qui resterait de cette jetée et du brise-lame, et la passe aurait toujours la profondeur nécessaire.

Sur l'océan on peut se débarrasser un peu des graviers par les chasses ; mais comme une chasse ne creuse jamais à plus de 2.00 au-dessous de l'eau, on ne peut compter sur ce moyen

pour maintenir une profondeur suffisante dans un endroit où il y aurait des atterrissements considérables et où ne se produit pas le phénomène de la marée, car dans l'océan, si aux 1.50 ou 2.00 de profondeur donnés par les chasses nous ajouterons 5.00 de marée, nous arriverons à la profondeur suffisante pour établir un port.

## Des rades.

Il est indispensable que dans un port les bâtiments soient à l'abri de l'agitation des lames, mais il faut aussi qu'à une certaine distance du port les bâtiments trouvent encore un certain calme et une défense certaine contre l'ennemi. Cet espace en avant du port où les bâtiments peuvent mouiller sous voiles se nomme rade. Si les navires étaient réunis dans une localité étroite et amarrés à quai, à la moindre agitation des lames ils se briseraient les uns contre les autres ou contre le quai. Il faut qu'ils soient parfaitement isolés. En rade, les navire sont retenus par une ancre. On sait ce que c'est qu'une ancre, l'ancre porte perpendiculairement au plan passant par les pattes de l'ancre une pièce de bois que l'on nomme le *Jas*. Lorsque l'ancre touche le fond, il peut se présenter deux cas : ou elle se présente bien, la patte mord et tout est dit ; si au contraire le jas donne par une de ses extrémités sur le fond, il ne peut rester dans cette position. Il est entraîné par le cordage attaché en son milieu et qui traîne au fond ; le jas en s'inclinant force la patte de l'ancre à entrer dans le sol.

Les rades complètement fermées sont rares ; quelques unes ouvertes à tous les vents du large sont dites *rades foraines*.

Sur un terrain de roche, l'ancre ne prend pas. Un sol de sable mouillé ne présente pas une bonne tenue ; cependant on peut y mouiller à la rigueur. Le meilleur fond est la vase compacte ou le sable mêlé de vase.

Lorsque l'on veut établir une rade, il est essentiel de connaître la quantité et le tonnage des bâtiments qu'elle doit contenir. Pour un port militaire, il est essentiel d'avoir une grande rade car il faut qu'un grand nombre de bâtiments soient prêts ensemble à prendre le vent. L'étendue nécessaire à un bâtiment au mouillage dépend de la profondeur d'eau. Pour que l'étendue soit bonne, il faut donner au câble, en longueur, 5 fois la profondeur. On pourrait à la rigueur se contenter de 3 fois. Il faut à cette longueur ajouter celle du vaisseau, 70.00 à peu près, pour avoir le rayon du cercle que peut décrire l'extrémité du bâtiment autour de l'ancre. En résumé, il faut à peu près 10 hectares pour un vaisseau. On peut diminuer cet espace en faisant mouiller le bâtiment sur deux ancres. Cette opération se nomme *affourcher*. On jette une première ancre, puis on envoie une chaloupe porter une seconde ancre jusqu'à ce que son axe partage en deux parties égales l'angle des deux câbles des ancres. On voit alors que le bâtiment retenu tantôt par un câble, tantôt par l'autre, ne pourra pas sortir d'un certain espace plus petit que le précédent. La surface nécessaire à un bâtiment se réduit alors de 5 à 6 hectares.

A part la question des alluvions, il est plus facile de créer un port dans la Méditerranée que sur l'océan. Car sur l'océan, entre la baisse de haute mer et celle de basse mer, il y a toujours un espace qu'il faudra franchir pour prendre le large. On y encaisse un chenal entre deux jetées assez rapprochées pour que l'agitation des lames puisse s'étendre et se perdre.

L'étude particulière des principaux ports de France fera ressortir les avantages qu'il convient de rechercher dans une rade.

*Brest*. Rade naturelle admirable présentant un ensemble de circonstances qui font de Brest un des meilleurs ports. Dans une anse, à l'abri des agitations de l'océan, par une passe qui n'a que 1600$^{m}$ de large, se jette une petite rivière *le Penfeld* qui aux basses eaux a 8.00 à 10.00 d'eau ; c'est sur cette rivière qu'est établie la ville de Brest. La rade peut contenir 150 vaisseaux de ligne et un nombre indéfini de petits bâtiments. Le seul inconvénient qu'elle présente est peut-être son étendue car elle a les agitations d'une mer propre ; ainsi le port reçoit un peu d'agitation quand le vent vient du sud. Brest est depuis longtemps un port complet, les établissements pour les machines à vapeur qu'on y construit maintenant le mettront à même de satisfaire aux exigences créées par ce nouveau mode de navigation.

*Cherbourg*.Le port de Cherbourg au contraire est un port entièrement créé par l'homme. On sait sa position sur un cap très avancé, telle qu'aucun navire ne puisse entrer dans la Manche sans le doubler. Nous avons vu qu'il n'y avait pas d'ensablement. En 1778 on reconnu l'importance de cette position mais il y fallait créer une rade. Les études furent incomplètes et mal faites. On projeta une digue commençant à 600$^{m}$.00 des côtes, elle aurait été défendue par les feux de deux forts établis à l'île Pelée et à la pointe du Homet, mais d'abord on n'avait pas sondé ou on avait mal sondé. L'île Pelée se prolonge par des rochers sous-marins à une grande distance et il n'aurait pas tenu 4 vaisseaux dans la rade. Ensuite on n'aurait pu sortir de la rade à volonté, car un navire ne peut pas marcher avant d'avoir au moins six quarts de vent, c'est-à-dire que l'angle limite que la direction d'un bâtiment puisse faire avec le vent est de 70° à peu près (les marins partagent un cadran en huit portions égales qu'ils nomment *quart*, chaque quart est donc de 11°30' ; chaque quart a un nom particulier. L'inspection de la rose des vents familiarisera immédiatement avec ces dénominations). Or d'après la direction ordinaire des vents à Cherbourg et la position de la digue projetée, un bâtiment n'aurait presque jamais pu prendre la mer par la passe de l'ouest.

On projette ensuite une digue formée de deux branches allant l'une vers l'île Pelée et l'autre vers la pointe de Querqueville protégée par un fort central et des forts établis dans deux localités. La digue devait s'arrêter à 600$^{m}$ du fort de Querqueville mais des sondes faites postérieurement ont fait voir qu'en agissant ainsi on eut complètement fermé la rade et on s'est arrêté à temps. La branche Est a 1100, la branche Ouest 2200$^{m}$.

Pour partir de la rade dans l'avant-port, on se hale sur des corps morts. Ce sont des bouées retenues par 2 ou 3 ancres. L'entrée de l'avant-port qui a 60.00 est trop large, aussi y a-t-il une certaine agitation et surtout un ressac très violent parce que les quais sont verticaux.

L'avant-port a une profondeur de 10.00 au dessous des basses eaux, mais sous certains rapports cette grande profondeur est inutile car dans la passe pour y arriver il n'y a, aux basses eaux en certains endroits, que 4 à 6.00 d'eau. En draguant ces passages on pourrait tirer toute le parti possible de la profondeur de l'avant-port.

*Toulon*. C'est après Brest le port le plus considérable de France. La rade de Toulon est naturelle et réunit toutes les qualités désirables ; elle est complètement fermée au mistral et ouverte au S.E., disposition très avantageuse car c'est toujours par les vents d'est qu'on arrive en France ; le contraire a lieu à Marseille. Sous Louis XIV, la rade de Toulon ne présentait qu'un petit port de commerce. On comprit toute l'importance de cette localité et Vauban traça la nouvelle base. On pouvait encore augmenter la rade en construisant une digue sur toute la portion de la passe où il n'y a pas de profondeur suffisante pour le passage des bâtiments. On aurait ainsi 200 bâtiments à l'abri. Deux ruisseaux venaient se jeter dans la rade de Toulon où ils pouvaient apporter des sables. Vauban détourna le premier dans l'anse qui précède la passe, mais les dépôts annuels de ce petit ruisseau, *l'Égouttier*, se forme dans son lit-même et comme l'été il est à sec, on les enlève facilement. Pour l'autre ruisseau, Vauban pensa qu'il n'y aurait aucun inconvénient à le faire arriver dans une portion de la rade où il n'y avait pas assez d'eau pour qu'elle pu servir au mouillage des bâtiments et à y ajouter les sables, en volume peu considérable du reste, qu'il charrie.

Le port de Vauban était encore insuffisant. On a construit des établissements pour l'immersion et tout le travail des bois. En ce moment quinze cales couvertes sont en construction. Enfin on doit agrandir l'arsenal et créer des établissements pour que les bateaux à vapeur puisse facilement se radouber et prendre leur chargement de charbon, ce qui est toujours une affaire considérable.

*Alger*. L'ancien port d'Alger était formé par une digue construite par Chereddin et entretenue à grands frais pour faire communiquer la ville avec l'île située en face. La rade foraine était exposée aux vents du nord qui sont très violents et surtout au ressac terrible occasionné par les côtes accolés qui sont en face. Pour construire un port, M. Poirel propose de joindre l'extrémité de l'île jadis réunie à la ville par Chereddin à la roche sans nom, puis de construire une seconde digue rattachant la terre à la roche Al Sifux. Le port ainsi projeté eut d'abord été trop petit, ensuite on objecte avec raison que les bâtiments venant du nord seraient obligés de tourner brusquement et de remonter contre le vent ; si de plus il manquaient l'entrée, ils arrivaient sur un fond de roches remplis d'écueils où ils ne pouvaient mouiller et où ils eussent été infailliblement perdus. M. Rany proposa un autre tracé. Il supprimait le grand môle de M. Poirel. Les bâtiments une fois entrés n'avaient plus besoin de remonter contre le vent (en supposant toujours le vent du nord). Mais son port eut été encore plus petit que l'autre et l'entré eut présenté cet autre inconvénient que les bâtiments après avoir dépassé la première jetée auraient couru grand risque de ne pas entrer dans le port et d'aller se briser sur la deuxième. M. Raffeneau de Lille présente un autre projet. Il agrandissait le port en reculant la digue vers le fort Balazonn. Cette digue allant à la roche sans nom se retournait

vers la ville au moyen de deux angles successifs. On profitait des 50 à 60$^{m}$.00 exécutés de la digue du premier projet puis on la prolongeait en faisant faire au prolongement un angle de 175° avec la partie exécutée. Pour produire du calme dans cette passe, M. Raffeneau proposa de la couvrir par une digue de 400$^{m}$.00, mais cette digue déjà fort dispendieuse puisqu'elle allait à des profondeurs de 30$^{m}$.00 n'aurait encore pu abriter qu'un ou deux vaisseaux. Pour parer à cet inconvénient, dans différentes modifications à son projet primitif, il proposa de l'allonger jusqu'à ce que l'extrémité du musoir fut sur la ligne allant de la roche sans nom au cap Matifou en terminant alors sa première digue qui s'arrêtait à la roche sans nom ; la portion de digue exécutée par M. Poirel eut été alors plus funeste qu'utile. On eut eu alors des profondeurs de plus de 40.00, on conçoit la dépense énorme exigée par cette construction et encore un très grand nombre de bâtiments n'auraient-ils pu trouver abri derrière cette immense digue. Enfin M. Bernard proposa, et il fut adopté, de reculer encore vers le fort Balazonn pour profiter des grandes profondeurs qui se trouvaient ainsi enclavées dans la rade. En outre, l'entrée doit être protégée par un môle à peu près parallèle à celui de M. Raffeneau, mais partant du commencement de la digue déjà exécutée se raccordant avec elle pour un cercle de 330$^{m}$ de rayon et se prolongeant ensuite vers le large d'à-peu-près 200$^{m}$. Les extrémités des musoirs se trouvant toujours en ligne droite avec le cap Matifou, ces digues, outre les forts à établir sur les musoirs, seront protégées par les feux du fort Babazonn et par les deux autres batteries établies sur la rive. La passe aura encore 300.00 à l'endroit le plus étroit et pourra être franchie sans difficulté.

## Construction des môles.

La première étude à faire avant d'entreprendre la construction d'un môle, d'une digue ou d'une jetée, est celle de la localité où elle doit être établie. Il faut avoir un plan de sondes ; pour cela on trace les courbes de niveau. Pour lever un profil on en fixe d'abord la direction au moyen de deux amers(*), puis par un temps calme, on s'en va au large à 3 ou 4000 mètres avec un canot mu par un nombre d'avirons convenable, qui file ordinairement 4 noeuds. Arrivé au point le plus éloigné du profil que l'on veut prendre, on se place dans la direction des amers, on fait donner un nombre déterminé de coups d'aviron et on laisse le canot se perdre dans son aire, et on sonde. Cette opération est assez délicate : il n'est pas facile de saisir l'instant précis où le plomb touche le fond, ni de prendre la moyenne des oscillations du flot. On fait donner le même nombre de coups d'aviron et on recommence la même opération en allant vers la terre. On conçoit que cette manière d'opérer est assez approximative. Pour la rendre plus exacte de 5 en 5 stations par exemple, on fixe le canot dans la ligne des amers au moyen de trois grappins, un à droite, l'autre à gauche, l'autre à l'arrière. Alors deux observateurs placés à terre aux extrémités d'une base déterminée prennent la direction du canot et peuvent construire ainsi

(*) Point fixe sur la côte ou en mer, visible de loin et servant de repère aux navigateurs

exactement sa position. D'un autre côté on peut, sur le canot, mesurer les angles *DCS, DCS′* et avoir ainsi plusieurs vérifications aux opérations faites à terre (fig. 23).

On peut éviter l'emploi des instruments en se servant de trois canots, deux se placent dans l'alignement avec des grappins. À chacun d'eux s'attache une chaîne avec des noeuds, que l'on tend avec un petit treuil jusqu'à ce qu'elle sois tangente à la surface de l'eau. On connais alors la longueur et la flèche de la chaînette. On peut déterminer les ordonnées puis on promène la sonde à des points fixés sur la chaînette. On a ainsi le plan du fond très exactement.

On peut faire des digues en enrochement de toutes dimensions en blocs, naturels ou artificiels, en maçonnerie pleine ou en maçonnerie à joues comme les môles antiques du Golfe de Pouzzoles, en charpente. Enfin on a exécuté des môles flottants retenus par des ancres. Comme ces différents modes d'exécution se retrouvent dans de grands travaux exécutés ou en construction maintenant, l'étude particulière de chacun de ces travaux semble être la marche la plus convenable qu'il convient de suivre.

*Digue de Cherbourg* M. de Cessart avait proposé de faire la digue de Cherbourg au moyen de grands cônes en bois qui devaient être échoués à côté les uns des autres car reliés par des chaînes à leur partie supérieure. Ces cônes devaient avoir 60 pieds de hauteur, 60 au sommet, 140 à la base. Ils devaient être remplis de moellons jusqu'à la ligne de basses eaux ; au-delà, de maçonnerie à mortier. Le premier cône fut échoué en 1784. Avant que le deuxième fut échoué, comme on n'avait pas eu le temps de faire la maçonnerie à mortier, on l'avait rempli d'enrochement. Une tempête brisa les pièces qui faisaient le couronnement du cône et répandit les blocs tout autour, de sorte que craignant de ne pouvoir asseoir le second cône au pied du premier, on l'échouât à 30 toises de distance. Les mêmes accidents survinrent à ce cône et ceux suivants. La mer brisait toujours la partie supérieure, les vers tarets rongeaient successivement à l'air et à l'eau. Enfin après avoir échoué 18 cônes qui trop distants les uns des autres ne produisait pas grand effet, on abandonna ce système, fort dispendieux du reste. On remplit l'intervalle des cônes avec des moellons de moyenne grosseur en donnant à l'enrochement des talus de 3 de base pour 1 de hauteur, du côté du large, et de 45° du côté de la terre, mais du côté du large ils en firent un de 6 de base pour 1 de hauteur. Les travaux alors furent abandonnés. M. Cachin pensa qu'en employant des blocs plus considérables, de 2 à $3^{m}$, la mer ne les remueraient plus. Il fit alors des enrochements avec des pierres de cette dimension sur les crêtes du côté de la terre, puis en disposa en différentes places de l'autre côté, avec des pierres de moindre volume. La mer releva encore les talus suivant différentes inclinaisons et vint amonceler les pierres devant l'enrochement continu de grosses pierres formés à l'aval sur une hauteur de 2,00 au dessus des hautes-eaux, le talus de fin à 2 de base pour 1 de hauteur entre les hautes-eaux et les basses eaux à 6 de base pour 1 de hauteur, entre le niveau des basses eaux et 5 au-dessous, à 3 de base. Au dessous de 5, il n'y eut pas de bouleversement dans les enrochements.

Sur la partie centrale de la digue, M. Lamblardie construisit un fort en granit de 70,00 de longueur et de 3 de hauteur au dessus des plus basses eaux. Sur cette construction exécutée, on mit une charge d'épreuve de 23 000$^{k}$ au moyen de moellons bruts ; il n'y eut que de faibles tassements. Comme les enrochements qui s'arrimaient bien pour une direction du vent changeaient de position pour une autre, que d'un autre côté la portion en maçonnerie à mortier tenaient bien sauf quelques lézardes qui n'ont pas produit de graves inconvénients, on s'est décidé à construire la digue en maçonnerie depuis le niveau des plus basses eaux jusqu'à 3,00 au dessus des plus hautes eaux. Il était difficile de l'établir à ce niveau qui découvrait à peine quelques heures dans l'année. M. Virla eut l'idée d'employer du côté du large des caisses en sapin à peu près jointives placées un peu en avant de la maçonnerie future que des hommes calaient et asseyaient le mieux possible en entrant dans l'eau. On les emplissaient rapidement de béton et en on les couvraient avec des couvercles que l'on clouait. Du côté de la terre on faisait un petit encaissement de moellons, puis, à la marée basse, on amenait des chalands et on coulait du béton entre ces deux digues. On coulait ce béton en marchant devant soi, on le versait à sec et on le faisait descendre en le poussant en avant. Il est bien arrivé quelquefois qu'à la marée suivante on n'a plus trouvé que des pierrailles délavées. C'est en dessous que ce délavement a lieu. Il est produit par le siphonnement de l'eau à travers les blocs de la digue. On craignait beaucoup les effets de ce siphonnement. On détruisit quelques parties exécutées ; on vit que le délavement s'arrêtait à 0,12 ou 0,15 de la surface. De plus l'eau était parfaitement tranquille sous la couche de béton, toute l'agitation intérieure avait été amortie par le passage de l'eau dans les interstices de l'enrochement sur la couche de béton. On élève la maçonnerie avec parement de granit la partie en est à 2,00 au dessus des plus hautes mers, on n'a plus à poser que deux assises et un parapet de 2,00 de hauteur et 2,00 d'épaisseur. On espère que dans quatre ans toute la digue sera terminée, sauf les forts des deux musoirs.

Les gros blocs qui servent à la construction de la digue de Cherbourg proviennent de la carrière du Roule. Du temps de M. Cachin les pierres étaient chargées sur un *binard* de telle façon que le centre de gravité de la pierre fut sur l'essieu. On embarquait le bloc sur de forts pontons qui, s'il y avait assez d'eau, venaient s'échouer à la place convenable. Dans le cas contraire, le ponton mouillait le plus près possible du lieu de l'échouage. On soulevait verticalement le bloc puis au moyen de *bigues* placées sur la portion de digue déjà faite, on attirait le bloc jusqu'au lieu où on voulait l'échouer.

M. Virla a fait établir un chemin de fer allant de la carrière à l'embarcadère. Les blocs sont chargés sur sur des wagons sans bord et amenés ainsi presque sur le ponton.

*Port d'Alger*. L'ancienne jetée construite par Cheredinn était exposé ainsi que nous l'avons dit à de violents ressacs et pour l'empêcher d'être complètement détruite, les maures étaient obligés de dépenser chaque année des sommes considérables. Elle était en très mauvais état lors de l'occupation française en 1830. M. Noël fut chargé de réparer cette digue. Il y parvint en faisant des reprises en sous-oeuvre. Dans ces travaux et dans ceux qui les suivirent pour la réparation du môle, on reconnu que des blocs de 3 à 4,00 ne résisteraient pas

au mouvement des eaux. M. Poirel eut l'idée de faire un encaissement en béton comme à Cherbourg, mais en employant des caisses sans fond, la mer pénétrant toujours en-dessous par les interstices, des enrochements exécuté eut délavé son béton, il fit des caisses à fond de toile goudronnée, la toile se posant assez exactement sur le fond, et on échoua plusieurs de ces caisses. La construction parut assez solide, cependant au bout de quelques temps il se produisit des tassements dans les enrochements inférieurs. Il y eut des fentes dans la masse de béton qui fit craindre de voir tout l'ouvrage perdu. Il n'en fut rien, le tassement opéré, les blocs de béton ne bougeront plus. On pense alors à faire la jeté en blocs de béton assez considérables pour que les lames ne puissent les soulever. En jetant les blocs pêle-mêle, on avait l'avantage d'avoir un très grand nombre d'interstices entre lesquels la mer se tamisait en quelque sorte, se calmait très vite. M. Poirel fit faire sur le sol des caisses rectangulaires ayant 3.40, 1.50 et 2.00 cubant par conséquent environ $10^{m/3}$. On les emplissait de béton, on laissait les parois pendant 8 jours, l'été et 15, 16 jours l'hiver. Le bloc à sa partie inférieure avait deux rainures pratiquées au moyen de deux petits moules en planche placés au fond de la caisse. Lors du coulage on passe une chaîne dans ces rainures, ces chaînes s'attachent à d'autres chaînes au moyen de manilles et, au moyen de verrins mus chacun par quatre hommes, on soulève le bloc à 0,50 de terre, on fait avancer un wagon plat sur lequel on charge le bloc. L'embarcadère est un chemin de fer incliné sur lequel on fait rouler le wagon chargé en ayant soin de le retenir par de forts câbles enroulés deux fois sur des pièces de bois. Enfin le wagon arrive sur une espèce de ponton formé de deux grands tonneaux, on l'attache à un fort châssis qui relie les tonneaux et on arrive au lieu de l'échouage. On déclique une des chaînes, le bloc tombe et le wagon reste attaché au radeau. Tant qu'il y a une profondeur d'eau suffisante on échoue les blocs, ainsi, quand il n'y en a plus, quand la digue se rattache à la terre, on apporte le bloc tout du long de la partie exécutée et on le lance comme un navire. Si on ne peut ainsi amener les blocs, un procédé très simple consiste à empiler des sacs remplis chacun de 0,05 de béton et formés d'une toile à tissu très lâche. Le mortier passe à travers la toile et les sacs se lient parfaitement les uns aux autres. La dépense est à peu près la même qu'avec les caisses à fond de toile goudronnée et on peut marcher beaucoup plus vite, chaque sac ne coûte que $0^{f}$,50 à $0^{f}$,60.

Les enrochements en blocs artificiels reviennent à $30^{f}$ le mètre cube.

———————— en sacs de béton ———————— $50^{f}$ ————————.

—— avec caissons à fond de toile goudronnée — $60^{f}$ ————————.

Les blocs à fleur d'eau ne résistent pas à l'agitation des lames et sont renversés à moins qu'ils ne soient surchargés d'un poids considérable d'une épaisseur de maçonnerie de deux à 3.00. On admet pour talus celui que la mer donne à la construction ordinairement, 0.5 de base pour 1 de hauteur, vers la terre et 1 pour 1 vers le large. Ces constructions reviennent à meilleurs marché que celles en bloc naturels à cause du moindre volume qu'elles exigent. Ainsi les blocs naturels ne reviennent qu'à 7 à $8^{f}$ le mètre cube mais il en faut 5 à 6 fois davantage. On a pensé réaliser une assez grande économie en construisant la partie située à 8.00

au-dessus du niveau de la mer en petits blocs, cela n'offrirait pas d'inconvénients si on n'établissait aucune construction au-dessus de la digue, mais comme toujours on en élève une plus ou moins haute pour y établir des batteries. Il y a ressac sur ces murs droits, une nouvelle onde produite et il pourrait se produire des affouillement dangereux et des tassements considérables. Si donc on veut employer de petits matériaux, il faut avoir soin de les revêtir du côté du large par une épaisseur de gros matériaux suffisante pour ne pas mettre à découvert les petits matériaux formant le noyau de la digue.

*Construction du fort Boyard dans la rade de l'île d'Aix*. L'intervalle entre l'île d'Aix et celle d'Oléron est trop considérable pour pouvoir être défendu par les batteries établies sur ces 2 îles ; l'entrée de la Charente n'était pas protégée et ces circonstances permirent la fâcheuse affaire des brûlots. Napoléon désira vivement que l'on défendit ce passage et on projeta d'établir une batterie près du banc Boyard situé au milieu. On voulut faire un enrochement en prenant les blocs les plus gros que l'on pu se procurer, on parvint même à en apporter un de $14^{m}$ et en une campagne on éleva deux assises sur l'enrochement. Mais une tempête détruisit tout et abaissa l'enrochement au niveau des plus basses eaux, en ne laissant que le gros bloc de $14^{m}$. On vit ainsi la dimension des blocs qu'il eut fallu employer et on renonça à la construction. Le grand développement pris par la marine à vapeur a rendu plus nécessaire que jamais de défendre cette passe contre toute surprise, et on a repris la construction de cet ouvrage. Comme l'ancien enrochement s'était couvert de coquilles, de vase, on a pris le parti de ne pas y toucher et de l'établir dessus. Mais il y a des parties qui ne se découvrent qu'aux grandes marées d'équinoxe, c'est-à-dire à peu près 4 fois par an, d'autres seulement aux grandes marées de chaque mois. Pour celles-ci on procède de la manière suivante : on dispose à l'avance un atelier de maçon, on apporte les matériaux sur des pontons et au moment où la mer découvre, on fait élever immédiatement des petits murs ayant 1.00 de hauteur et d'épaisseur et formant des caisses d'environ $5^{m}$ de côté, le tout avec du ciment faisant prise en quelques minutes. Aux marées suivantes on verse du béton dans ces espèces de caisses, mais jamais on ne laisse une surface sans la couvrir de ciment. On a fait dans la campagne de 1842 plus de 400 mètres superficiels de cette construction et rien n'a bougé quoiqu'il y ait déjà eut plusieurs tempêtes. Quand aux parties qui ne découvrent jamais, on les fera avec des sacs de béton qu'on jettera en marchant devant soi et en les empilant. Il n'y a jamais que la première assise de ces sacs qui soient un peu délavée dans l'intervalle d'une marée à l'autre, mais en ayant soin de toujours enlever la dernière couche mise, on aura des blocs parfaitement continus, la toile disparaît, les fibres sont solubles dans la chaux. Dès qu'on aura arasé le niveau de l'ancien bloc, on fera un revêtement en granits et le corps de la digue en maçonnerie ordinaire. Pour marcher plus vite on mènera les assises successives par échelon, afin d'en avoir plusieurs en train et pour toutes ces maçonneries on continuera le système de cases employé, en ayant soin de ne jamais laisser à la mer une surface de béton sans la recouvrir de ciment. On sait la difficulté qu'il y a pour faire les joints de la maçonnerie de pierre de taille. Les maçons, quoiqu'on fasse, emploient des cales ou si l'on pose les pierres sur un banc de mortier, il est toujours ou trop sec, auquel cas il ne prend point et la pierre ne repose que sur quelques

points, ou trop mou, auquel cas il s'écoule tout autour. La machine fort simple dont le dessin est donné planche J (fig. r) et dont on s'est servi à Toulon pour sceller plus de 3000 cubes remédie à ces inconvénients. On commence par poser la pierre à sec, puis on la soulève de 0,15 à 0,20. Un ouvrier étale rapidement une couche suffisante de ciment et on fait redescendre la pierre parallèlement à elle-même. Pour les joints verticaux, on met du ciment dans la cavité pratiquée pour laisser passer les pinces et avec un refouloir on le fait pénétrer dans tous les joints.

Les môles dont nous avons précédemment étudié la construction étaient destinés soit à produire le calme comme à Cherbourg, à Alger, ou à servir à la défense des côtes comme au fort Boyard. Dans la Méditerranée où on peut regarder le niveau de l'eau comme constant, les môles n'ont à satisfaire qu'à l'une ou à l'autre de ces conditions ou aux deux réunies. Dans l'océan, le phénomène des marées vient augmenter les difficultés de pénétrer dans un port. C'est à l'aide des jetées qu'on parvient le plus souvent à vaincre ces nouvelles difficultés. Supposons une plage, entre la laisse de haute-mer et la laisse de basse-mer il y a certains espaces quelquefois considérables (plus de $1000^{m}$). Si on veut établir un port, on le fera presque toujours au-delà de la laisse de haute-mer. Supposons le port creusé, il faudra nécessairement, pour établir une communication du port avec le large, creuser un chenal dont le fond supposé horizontal soit de niveau avec celui du port. Pour les ports de cabotage, la largeur de ce chenal varie de 20 à 30, pour le grand commerce de 40 à 50, pour les ports militaires de 70 à 80. Comme il est nécessaire de donner à un port une faible largeur pour une grande longueur afin que les bâtiments soient de bord à quai, si on se contentait de creuser un chenal, ainsi que nous l'avons dit, toute l'agitation de la lame pénétrerait dans le port et il serait impossible aux bâtiments de s'y maintenir.

En outre un pareil chenal serait bientôt comblé, car ils sont généralement creusés à une profondeur telle que l'agitation de la lame ne se fasse pas sentir au fond, or des galets qui des deux côtés du chenal ne trouvent qu'une profondeur de 1 à 2.00, et par conséquent agitation partout, et qui par suite sont en mouvement rencontrant une grande profondeur et du calme, se déposeraient immédiatement, et des chasses ne pourraient pas remédier à ces ensablements car elles ne seraient pas guidés dans le chenal et se perdraient des deux côtés. Enfin les bâtiments courraient toujours le danger de toucher à droite ou à gauche, et, dans toute la longueur du chenal, obligés de se jouer sur des bouées, opération toujours longue et quelquefois dangereuse à exécuter.

Ces désavantages disparaissent en partie au moyen de deux jetées verticales, ou à peu près, qui encaissent le chenal et dont le sommet est au-dessous du niveau des plus hautes eaux. La lame s'éteindra complètement dans ce chenal si, de distance en distance, les jetées sont coupées par des clairvoies communiquant à des bassins fermés et dont le fond se relève au moyen d'une pente très faible. Dans tous les ports de l'océan où il n'y a pas de l'eau à toute marée, on emploie les jetées.

Quand on a un bon sol de roc, la construction la plus simple et la plus naturelle est une double jetée en maçonnerie. Leur longueur est déterminée par la profondeur du port et la pente du rivage ; leur hauteur par celle atteinte par les plus hautes mers augmentée de 2 à 3.00 au moins : nous avons parlé de leur écartement, quand à la largeur de chacune d'elles, comme ce sont de véritables chemins de halage pour les navires, on la porte à 4 ou 5.00. Pour que les haleurs ne soient pas exposés à la lame, on établit des parapets de 1.50 d'épaisseur et de 2.00 de hauteur. De distance en distance sont des canons ou des bornes d'amarrage.

Pour s'établir au dessous du niveau de la basse-mer, on peut recourir aux batardeaux ou aux bétonnages. On ne pourrait, dans les ports de grande marée, évidemment, employer des batardeaux allant jusqu'au dessus des plus hautes marées. On emploi des batardeaux à mi-marée, c'est-à-dire qu'il faut épuiser à chaque marée pour travailler le reste du temps. Pour entreprendre un travail pareil, il faut être sûr de pouvoir épuiser en $1^h½$, $2^h$ tout au plus, afin d'avoir $4^h$ pour travailler. De plus, il faut pouvoir disposer d'un grand nombre d'ouvriers et disposer son chantier de telle sorte que pendant la haute-mer on prépare tout le travail pour la basse-mer suivante. L'emploi des batardeaux avec épuisement est toujours dispendieuse.

Les bétonnages sont préférables. On commence par battre deux files de pieux jointifs qu'on relie par des ventrières un peu au-dessus du niveau de basse-mer. On cure dans l'intervalle de ces pieux jusqu'au terrain solide avec des machines à cuiller ou à hotte. On peut placer la machine à draguer soit sur des poutres qui s'élèvent avec la marée, soit sur un échafaud volant établi au-dessus du niveau de haute-mer.

Dès qu'on a curé une certaine longueur, à marée basse, on y coule le béton qu'on verse en marchant devant soi en ne le jetant pas dans l'eau. En opérant ainsi, la laitance est toujours poussée en avant du talus qui se forme. Quand il y a une certaine quantité, on l'enlève avec des sceaux en tôle que l'on promène sur le fond. Dès que l'on a obtenu un niveau au-dessus des basses-mers, on construit le reste de la jetée par marées, les parements en pierre de taille, le reste en remplissage.

Les parements des jetées sont à peu près verticaux. M. le Colonel Emy a proposé des parements courbes se raccordant avec le fond et se relevant verticalement. M. de Baudre a employé ce profil à $S^t$ Jean de Luz. Il est d'une exécution difficile et dispendieuse et probablement sans grande utilité, car s'il est vrai que la lame rencontre moins d'obstacles sur une paroi courbe, d'un autre côté elle s'élèvera plus haut et les effets de sa chute seront plus redoutables pour les portions inférieures. Et comme il est bien difficile d'empêcher les joints de se dégarnir de mortier, les portions inférieures de l'appareil qui n'ont point de fondations où elles soient solidement rattachées sont enlevées. Le moyen le plus sûr de diminuer la violence des lames est de défendre le pied de la jetée par des enrochements en blocs que la mer ne puisse déplacer. On pourrait employer avec succès des blocs en béton que l'on fabriquerait sur la jetée même et qu'on jetterait au pied. Du reste les jetées avec parements droits exécutés à Grandville, à Cherbourg, au Havre, et qui résistent parfaitement répondent aux objections de M. Emy.

La jetée sous le vent doit être plus longue que l'autre pour deux raisons. Si elles étaient égales, un navire qui par un gros temps aurait doublé la digue sous le vent courrait grand risque d'aller se briser contre l'autre. Ensuite elle doit servir d'épi d'ensablement, les galets se déposent devant elle et ce n'est que lorsqu'ils ont rempli tout l'espace en avant de la jetée qu'ils la dépassent et viennent former un *poulier* dans le chenal. Si on a soin, au moyen de dragages, de ne pas laisser se combler cet espace réservé aux galets, on n'aura pas à craindre leur introduction dans la passe.

Pour obtenir des chasses le maximum d'effet, M. Lamblardie a proposé de donner aux jetées une forme convexe vers le côté d'où viennent les galets. Cette disposition serait très convenable dans le cas où l'on aurait la certitude de n'être pas obligé de prolonger ultérieurement les jetées, mais comme sur les côtes de France cela a toujours lieu (à Dunkerque la jetée a 2000), les jetées finiraient par avoir des formes toutes contournées. Le mieux est de faire les jetées droites. Dans le cas d'ailleurs où les galets dépassent les musoirs et où les chasses deviennent nécessaires, ils produisent avec la jetée la courbure proposée par M. Lamblardie.

Pour les clairvoies qui interrompent les jetées en maçonnerie, il est convenable d'espacer les fermes de 2.5 à 3.00, plus rapprochées elles produiraient un léger ressac qui gênerait les navires dans le chenal. Le fond des bassins placés derrière les clairvoies et qui sont destinés à l'allongement de la lame doit être posé et relevé suivant la pente la plus faible possible jusqu'au niveau des hautes-eaux.

*Jetées en charpente*. Lorsque l'on a un fond de vase, des constructions en maçonnerie seraient très dispendieuses, quand on parviendrait à les établir, ce qui serait toujours fort difficile. On a recours alors aux jetées en charpente. Quelques unes de ces jetées sont fort anciennes ; on en trouve surtout dans le nord. Les jetées de Flessingue se composent de deux files parallèles de pieux jointifs réunis à différentes hauteurs par des ventrières. L'espace entre ces pieux est rempli de moellons, de gravier. On a pensé diminuer la dépense en remplaçant les pieux jointifs par des fermes, sur lesquelles on clouait des madriers pour faire un coffrage. Les madriers avaient d'abord été cloués à l'intérieur des fermes, on pensait que la plus grande poussée devait être celle du dedans au dehors, provenant du gravier, mais avant que les coffres fussent emplis, la mer avait enfoui les madriers. On les a alors cloués extérieurement et ils ont fort bien tenu. Ces digues avaient d'abord été bordées jusqu'à 2.00 au-dessus du chemin de halage. On a reconnu qu'il y avait un grand avantage à laisser une clairvoie de 2.00 au-dessous. De là les jetées mi-coffrées. Comme les vers tarets rongeaient toujours le bois, que les coffres se vidaient, c'était un ouvrage à recommencer complètement.

On se contente aujourd'hui de jetées complètement à joue. On peut citer pour modèle la jetée exécutée à Dunkerque comme preuve de sa solidité. On peut rappeler qu'il y a deux ans à peu près, le bateau à vapeur *Le Véloce* est venu donner contre cette jetée sans que le tambour et la roue furent complètement enlevés, sans que la jetée ait rien eut à souffrir. Elle a été exécutée de la manière suivante : pour le parement des affouillements, on a employé des

*fascinages*. On construit à terre un matelas de *fascines* placées toutes dans le même sens. Puis, par-dessus on place une seconde rangée de fascines placées à angle droit sur les premières. On forme ainsi un ensemble à quatre couches en retrait l'une sur l'autre de 1.00, 0.50, 0.50 et 0.50 et traversées par des piquets. On a eut soin de disposer son chantier de telle sorte que tout ce matelas puisse être mis à flot par une marée de vives eaux. On l'amène à l'endroit convenable, on l'échoue au moyen de poids additionnels. Pour le faire tenir, on bat les pilots par dessus qui le clouent, pour ainsi dire, au sol. Cela fait, on amène en les faisant flotter les fermes qui ont été construites à terre et on les met en place. Dans ces fermes, on évite de mettre des tenons. On se contente d'embreuvement avec moises. Quand une pièce a besoin d'être remplacée, on déboulonne la moise et on fait glisser la pièce à remplacer. Le tillac n'est pas formé de pièces jointives, on a soin d'espacer les madriers qui le forment de 0.02 ; l'eau qui arrive sur ce tillac est tamisée en un instant. Les bornes d'amarrage sont placées au milieu du tillac ; de cette façon l'amarrage est facile, et on a un passage libre sur la moitié de la voie.

On complète le fascinage en plaçant de nouveau un matelas de façon cependant à donner une forme courbe à l'ensemble. Ensuite on enfonce de longs piquets qui traversent toute la masse. Les piquets sont reliés par des *clayons* de manière à former une série de cases longitudinales. Ces cales sont remplies avec des pisés de fort échantillons posés de champ. Si la digue ainsi faite laissait un trop grand passage aux lames, on pourrait boulonner une fourrure entre deux fermes.

*Jetées flottantes.* Pour de grandes profondeurs, on ne pourrait entreprendre des jetées fixes sans exiger des dépenses énormes. On a pensé résister à l'action de la lame au moyen de clairvoies flottantes ; on a remarqué depuis longtemps que dans un espace enceint par des pannes flottantes, l'agitation était beaucoup moins considérables qu'en dehors. On a imaginé de construire une série de cadres en bois, reliés par 4, traversés aux angles. Le tout est mis à flot et amarré de court par un côté (fig. 24).

La lame se tamise deux fois en traversant un pareil système et presque toute l'agitation disparaît ; il parait que ces digues ont réussi en Angleterre. M. Tyler demande 400,000$^{f}$ pour établir 300$^{m}$ de semblables digues à Marseille. Pour abriter les navires en quarantaine, on a construit une digue entre les îles de Pomègues et de Ratonneau. Quand le vent vient du S.E. l'agitation est beaucoup plus grande qu'avant la construction de cette digue à cause du ressac. Comme il y a 15 à 20.00 de profondeur, on ne peut songer à une jetée fixe. On propose alors de placer une série de brise-lames flottants pleins sur joue. La forme adoptée par M. Tyler présente des inconvénients : comme le seul moyen efficace pour préserver ces bois des vers tarets est encore de les doubler en cuivre, le système devient très lourd et est presque entièrement immergé, ensuite on ne peut descendre dessus ce qui présenterait de grands avantages. Peut-être la forme suivante satisferait-elle aux conditions d'être plus flottante et d'être abordable. On aurait un simple radeau de 300 de largeur et de 1 de profondeur qui serait parfaitement stable, on le traverserait par une suite de pièces verticales réunies

horizontalement. Ces pièces serviraient à diviser la lame et en même temps à amarrer les bâtiments, car on pourrait alors aborder sur le radeau (fig. 24). Du reste cette forme n'a pas été exécutée.

Pour amarrer les corps morts, les bouées, les digues flottantes, etc, les Anglais ont remplacés ancres ordinaires toujours dispendieuses par d'autres beaucoup meilleur marché et qui paraissaient prendre une bonne tenue dans le sol. On ne peut pas employer ce mode d'ancrage à une profondeur de plus de 10.00 car il faut pouvoir tourner cet espèce de tire-bouchon avec un faux-pieu (fig. 25). Un système moins cher et plus commode que tous ceux-ci serait peut-être de fabriquer un bloc de béton cubant 12 à 15.00 et traversé par une pièce de fer sortant en anneau, ce qui serait facile ; on attacherait à cet anneau la chaîne liée à la bouée et on immergerait le bloc. Un pareil système coûterait au plus 600$^{f}$.

## Disposition générale d'un port.

Une fois le chenal franchi, on arrive à l'avant-port qui porte aussi le nom de *port d'échouage*. L'avant-port doit avoir la même profondeur que le chenal, et au moins trois fois sa largeur, car d'abord il faut que l'agitation de la lame, déjà diminuée par les clairvoies, se perdent complètement dans l'avant-port, et puis il faut un espace suffisant pour que les bâtiments à quai ne soient pas gênés par ceux qui arrivent et réciproquement. Quant à la longueur, elle doit être suffisante pour qu'un navire, arrivant vent arrière, achève de perdre son air et en même temps pour qu'un grand nombre de navires puissent y séjourner. Pour un grand port de commerce, elle ne doit pas être moindre que 400$^{m}$. Si la profondeur de l'avant-port était plus grande que celle du chenal, il y aurait chance d'alluvions, et les chasses ne produiraient pas tous leurs effets. Du reste il est bon que le fond de l'avant-port soit de vase ou de sable, car il faut qu'à marée basse les bâtiments qui s'échouent et qui, au moment où ils commencent à toucher sont soulevés par la lame et par suite retombent, ne trouvent pas un sol trop dur. Il faut aussi que le sol ne soit pas en pente, sans quoi les bâtiments courraient le risque d'endommager leurs carènes. Si on avait un fond de roc, il faudrait le laisser s'envaser.

La première partie de l'avant-port porte plus particulièrement le nom *d'avant-port*, la seconde celui de *port d'échouage*.

Les rives doivent être bordées de quais, car un grand nombre de navires, surtout les caboteurs, préfèrent rester dans l'avant-port.

Les quais en maçonnerie doivent avoir une épaisseur assez considérable, car la poussée des terres se trouve encore augmenté par le poids des marchandises qui sont déposées sur le bord. On prend ordinairement pour épaisseur moyenne la moitié de la hauteur. Ils sont fondés au niveau des basses-mers, et la maçonnerie s'élève jusqu'à 1.00 au dessus des hautes-eaux.

Sur un sol de roc, les quais de maçonnerie coûtent 2000 à 2100$^{f}$ le mètre car ils ont parfois une grande hauteur. Comme les quais sont exposés à une très grande quantité de chocs, ils ne tardent pas à être dégradés dans presque toute leur hauteur. Aussi dans beaucoup de localités on a pris le parti de les couvrir d'un revêtement en bois. Ce sont de simples madriers cloués jointivement sur des traverses et qu'on remplace quand ils sont pourris. Pour toutes ces causes qui rendent les quais en maçonnerie si dispendieux, on préfère quelquefois les quais en bois. On bat une file de pieux à 1.50 d'axe en axe, on saisit leurs têtes par deux *moises*, entre lesquelles on bat des palplanches jointives. Il est bon d'employer des pieux équarris. Les Hollandais apportent le plus grand soin dans le fichage des palplanches. Ils battent d'abord deux files de pieux qu'ils coiffent de chapeaux entre lesquels ils placent les palplanches jointives. En battant toute une file ensemble, surtout dans le cas où les palplanches doivent prévenir l'arrivée des eaux comme pour le radier d'une écluse, ces précautions sont moins indispensables quand il s'agit de résister à la poussée des terres. En arrière de chaque pieu on en bat un autre qu'on relie au premier par deux moises et sur le premier pieu on appuie la traverse sur laquelle on clouera le revêtement. Cette traverse est soutenue par une contrefiche qui bute sur le pilot d'arrière. Toutes les fermes sont réunies par deux ventrières dont une placée derrière le pilot d'arrière et par suite noyées dans la partie du terrain qui ne tend pas à glisser ce qui procure une une grande résistance à tout le système.

Sur les quais, on place de distance en distance des bornes d'amarrage. Pour un amarrage constant des boucles noyées dans la maçonnerie sont préférables. Ces boucles doivent être en bronze pour être préservées de l'action des eaux ; en fonte elles seraient cassantes, en fer forgé trop oxydables. Le zingage ne tiendrait pas à cause du frottement. Il faut les faire en bronze ou en fer forgé recouvert de bronze.

Autour de l'avant-port viennent se grouper d'autres constructions aussi indispensables dans un port. Un bassin de retenue avec écluse pour faire des chasses dans le chenal, excepté Brest et Cherbourg, on aurait pas de port sans cela. Les retenues se font aux hautes-marées de vives eaux et les chasses aux basses-marées correspondantes. Il faut que l'écluse soit le plus près possible et en face du chenal.

Un ou plusieurs bassins à flot, dont le but est de maintenir constamment à flot les navires fins qui ne peuvent supporter l'échouage. L'eau est maintenue quelquefois à des hauteurs variables, quelquefois à niveau constant ; c'est le plus souvent celui des hautes-marées moyennes. Les bassins à flot n'ont pas besoin d'une grande largeur. De chaque côté une rangée de bâtiments bord à quai et une seconde rangée parallèle pour occuper immédiatement les places de ceux qui quittent le quai. Outre ces 4 files, la place suffisante pour le mouvement de ceux qui arrivent ou qui partent est en tout 70 à 80$^{m}$. Les bassins à flot pour les bateaux à vapeur doivent avoir de bien plus grandes dimensions ; les paquebots transatlantiques de 450 chevaux ont 20.00 de large et 87.00 de longueur y compris le beaupré. En admettant les mêmes conditions pour ce bassin que pour les précédents, en comptant 120$^{m}$,00 pour virer, on trouve qu'il est nécessaire de leur donner 200.00 de large. Il est

important d'avoir un bassin séparé pour les bateaux à vapeur parce que outre la largeur des écluses nécessaires, ils exigent une surveillance et des soins spéciaux. Comme pour les bassins à flot, il faut une et souvent deux écluses (dans le cas où l'on réparerait l'une d'elle). Il est convenable de leur donner une certaine longueur afin de tirer tout le parti possible de leur construction. Comme d'un autre côté le parcours en est pénible à cause de l'encombrement, il ne faut pas dépasser certaines limites, 500$^{m}$,00 est une longueur convenable.

A ces constructions il faut joindre tous les établissements nécessaires pour la construction et le radoub des bâtiments, des cales, des formes, des fosses pour les bois et des dépôts considérables de houille à portée des bateaux à vapeur.

Comment grouper tous ces établissements dans une même localité, quelles sont leurs exigences relatives ? Le plus souvent on est commandé par les localités, mais supposons ici un terre-plein et un port à construire, cherchons quelles peuvent-être les dispositions générales. Les jetées qui forment le chenal sont coupées par des clairvoies, en face est l'écluse de chasse avec le bassin de retenue, à gauche l'avant-port. En face, les docks du commerce ou du gouvernement, communiquant entre-eux, l'entrée de ces docks doit être le plus près possible de l'extrémité du chenal pour que les bâtiments puissent y parvenir pendant le temps de l'étale, quelquefois très court. Comme les bateaux à vapeur peuvent manoeuvrer beaucoup plus facilement, on peut mettre leur bassin à l'extrémité de l'avant-port et cette disposition les éloignera davantage de la ville supposée derrière les autres docks. On peut, entre les bassins à flot, supposer 70 à 80$^{m}$, soit que ces docks soient immédiatement au bord de l'eau avec rue au milieu, soit que l'on ait deux quais avec magasins au milieu. Entre la laisse de haute-mer et l'avant-port sur des terrains d'alluvion, de sable, de peu de valeur, on établira loin des habitations les cales et tous les autres établissements de ce genre. Sans doute un pareil port n'existe pas et n'existera peut-être jamais, mais au moins ces courtes remarques font-elles voir les conditions exclusives les plus essentielles que l'on doit chercher à réaliser.

## Bassins à flot.

Dans la Méditerranée, le niveau des eaux est à peu près constant, il n'en est pas de même dans l'océan, et sauf quelques exceptions comme à Brest, les bâtiments qui trouvent à marée haute un tirant d'eau plus que suffisant, seraient à marée basse obligés d'échouer, si par des moyens particulier on ne pouvait les maintenir à flot. Un grand nombre de bâtiments peut supporter l'échouage, mais pour les bâtiments fins et pour la plupart des bâtiments de l'état, cette manoeuvre serait très fatigante et pourrait occasionner de graves inconvénients. On pourrait à l'extrémité du chenal, quelque faible que fut sa profondeur au-dessous du niveau de basse-mer, creuser un emplacement à une profondeur telle que les bâtiments entrés avec la haute-mer y flottassent encore quand elle se serait retirée. Cette disposition exécutée à Cherbourg permettait aux navires de faible tonnage de pouvoir entrer à un instant quelconque du flot. Ceux de tonnage ordinaire entreraient à mi-marée, et il n'y aurait que les gros

bâtiments qui seraient forcés d'attendre l'heure de haute-mer. Il faudrait alors que les bassins aient une faible étendue car puisque leur niveau doit être le même que celui de la haute-mer, il faut que dans l'intervalle d'une marée à l'autre il passe dans le chenal un immense volume d'eau. Si on applique ces considérations à S$^{t}$ Malo, où il y a 14 mètres de marée, un bassin à flot de 80 hectares de superficie, on voit qu'il faudrait qu'en une heure il passât par une écluse de 14 à 15 mètres plus de 150,000$^{m}$ cubes et il en résulterait par suite une vitesse tellement grande qu'il y aurait impossibilité absolue d'y manoeuvrer.

Nous avons, dans la leçon précédente, parlé des dimensions des bassins à flot. Quant à la hauteur d'eau, elle dépend de la nature des bâtiments qu'ils doivent recevoir. Pour les bâtiments de commerce, la profondeur maximum d'un bassin à flot est de 7.00. Pour les bâtiments de l'état, elle est de 9.00. Les plus grands vaisseaux de ligne ne tirent que 8.10 d'eau, mais il faut toujours laisser une petite épaisseur d'eau sous laquelle, pour que par suite des oscillations résultantes de l'agitation du bassin, ils ne puissent toucher. En outre il faut se réserver une petite tranche d'eau pour pouvoir faire des chasses dans l'avant-port.

Les bassins à flot communiquent avec l'avant-port par une écluse composée d'un radier et de deux *bajoyers*. Ces bajoyers sont droits ou inclinés selon le mode de fermeture adopté. Le plus généralement on s'est servi de portes busquées. Pour de grandes ouvertures on a employé des bateaux portés. On a proposé aussi l'emploi de bateaux roulants. Ces derniers peut-être convenables pour de grandes ouvertures, ne sont probablement pas appelés à recevoir une fréquente application, depuis que l'invention des bateaux à vapeur mus par des hélices fait espérer qu'il ne sera pas nécessaire d'augmenter encore les ouvertures des bassins à flot.

Comme la construction des écluse présente une très grande analogie avec celle des bassins de radoub, pour lesquels les conditions d'étanchement sont encore plus impérieuses, tout ce qui sera dit pour les bassins de radoub s'appliquera aux écluses.

*Portes busquées.* Les portes busquées des bassins à flot présentent, sauf les dimensions, la plus grande analogie avec les écluses de navigation. La saillie du *busc* est comprise entre $\frac{1}{5}$ et $\frac{1}{6}$ de l'ouverture.

Les portes busquées sont composées de deux vantaux qui s'arqueboutent en s'appuyant aussi sur le busc et les *chardonnets*.

Chaque ventail se compose essentiellement d'un poteau tourillon autour duquel s'effectue la rotation, d'un poteau busqué et d'entretoises horizontales reliant les deux poteaux. Sur ces entretoises on cloue des bordages. Les dimensions des bois employés sont très variables ; pour les écluses des bassins à flot du commerce qui n'ont pas plus de 14.00, les bois ont à peu près 0,40 sur 0,35. Pour les grands bassins à flot, où les portes peuvent avoir jusqu'à 21.00, on n'a pas de pièces simples d'un assez fort équarrissage. On emploie alors des pièces doubles sur la construction desquelles nous reviendrons.

*Entretoises*. En considérant isolément la pression statique et en supposant que la mer descende jusqu'au busc, on voit qu'elle augmente de zéro jusqu'au bas du ventail. On est donc rationnellement porté à proportionner la résistance des parties de la charpente à la charge qui les presse et en conséquence à rapprocher les entretoises dans le bas. Pour le calcul, on peut supposer que chaque entretoise porte la tranche d'eau comprise entre les lignes horizontales qui partagent les entretoises en parties égales. Mais un grand nombre de circonstances doivent modifier ces résultats ; la pression de l'eau qui agit directement sur les bordages est transmise par ceux-ci aux entretoises, et l'est souvent de manière très inégale. D'un autre côté, le choc des lames, celui des bateaux à la partie supérieure des portes, le poids considérable de ces portes, exigent que l'on donne une grande résistance à l'entretoise supérieure. Enfin, il résulte de l'expérience que c'est vers le milieu que les portes ont à supporter la plus grande fatigue et il convient de donner à l'entretoise du milieu le même équarrissage. qu'aux deux entretoises extrêmes. Si on n'espace pas également les autres, il ne faut pas les rapprocher beaucoup plus dans la partie inférieure que dans la partie supérieure.

Sur le poteau tourillon, sur le poteau busqué, sur l'entretoise supérieure et sur l'entretoise inférieure, on fait des feuillures de l'épaisseur des madriers de bordage et on y cloue ceux-ci ainsi que sur les entretoises intermédiaires.

Les assemblages des pièce composant les portes se font en général à tenons et mortaise. Les entretoises portent un tenon qui entre dans les mortaises des poteaux, la traverse inférieure ne doit avoir qu'un demi tenon. Il en serait de même des autres traverses inférieures si elle n'étaient trop rapprochées, car elles affaibliraient les poteaux à leur pied. Quelquefois on a employé des doubles tenons. On a placé les mortaises tantôt à droite, tantôt à gauche. Ces systèmes doivent être rejetés parce que dans les deux cas on entame la pièce en-dessus et en-dessous de la fibre neutre, là où les fibres ont à supporter de plus grands efforts. On fait en général un embrèvement aux assemblages et l'on fait entrer toute la pièce de deux ou trois centimètres dans les poteaux. Ce système n'est peut-être pas bon en ce qu'il diminue la résistance des poteaux de toute la quantité dont on les a taillés pour l'embrèvement. Dans quelques portes on n'a fait l'embrèvement qu'en partie, c'est alors un tenon renforcé.

*Équerres et étrier.* Lorsque la porte est ouverte, le poteau tourillon est la seule pièce qui porte toutes les autres, lesquelles tendent à le quitter par l'effet de leur poids total qui peut aller jusqu'à 50 tonnes, ou par celui de leur poids diminué du poids du volume du liquide déplacé. Les assemblages des entretoises avec le poteau tourillon tendent à jouer, à s'ouvrir à la partie supérieure, et à se serrer à la partie inférieure, tandis que pour ceux des entretoises avec le poteau busqué, les effets contraires tendent à se produire. On s'oppose un peu à ces mouvements par des ferrures en fer plan ayant de 0.10 à 0.12 de large sur 0.05 à 0.03 d'épaisseur. On se sert d'équerres ou d'étriers. Les équerres sont appliquées généralement sur deux entretoises et sur un poteau, et de chaque côté de la porte, ces pièces sont boulonnées sur le poteau et les entretoises. Les étriers embrassent le poteau et ne sont boulonnés que sur l'entretoise, mais il faut alors découper le poteau sur les trois quarts de son périmètre ; ensuite

il est difficile d'empêcher une saillie de l'un des deux corps sur l'autre, et on multiplie ainsi les chances de perte d'eau.

*Bracon*. Mais toutes ces ferrures n'empêcheraient pas la porte de donner du nez, c'est-à-dire de tendre à se renverser en tournant dans un plan vertical autour de la crapaudière. Le moyen le plus efficace que l'on puisse employer contre ce mouvement est le bracon, pièce indispensable dans une porte d'écluse. Le bracon porte sur le poteau tourillon et sur l'entretoise supérieure, ce qui est plus avantageux que de le faire porter sur la traverse inférieure et le poteau busqué.

Le bracon est assemblé à embrèvement et à 2 ou 3 redents sur le poteau tourillon. On le découpe à la rencontre des entretoises que l'on découpe pareillement ; alors les deux pièces se recouvrent. On laisse 0,15 à 0,16 de plein au bracon dont l'épaisseur totale est à peu près 0,30. Pour fixer le bracon sur les entretoises, on se sert quelquefois de boulons mais, surtout pour les entretoises du milieu, cette disposition serait très fatigante. Il vaut mieux placer de petits bracons entre les entretoises et les relier au grand par des boulons. Ils forment alors une espèce de moise qui ajoute à la solidité du système.

*Écharpes*. Enfin, pour prévenir encore l'abaissement des portes, on emploie des écharpes doubles en fer, joignant l'extrémité inférieure du poteau busqué avec l'extrémité supérieure du poteau tourillon. Elles résistent ainsi par traction tandis que le bracon résiste par pression. Pour tendre convenablement les écharpes, on peut les faire en deux pièces terminées par des vis à filets opposés. Ces vis entrent dans un écrou qui, lorsqu'on le tourne, tend les deux parties de l'écharpe.

*Crapaudines*. Les crapaudines doivent être en bronze, c'est le métal qui résiste le mieux à la mer et aux frottements. Il est avantageux de terminer la crapaudine mâle par une surface convexe d'un assez grand rayon.

*Colliers*. Le collier doit soutenir la porte dans des positions différentes. Il est le plus souvent formé de deux parties à charnière qui embrassent le poteau tourillon. Le collier en bronze porte deux ou trois branches noyées dans la maçonnerie et reliées avec soin à ses ancres en fer forgé. Ces ancres peuvent être avantageusement placées au-dessous de la pierre de couronnement du bajoyer. Elles sont traversées par des goujons en fer forgé placés verticalement dans la maçonnerie. Une de ses ancres est noyée dans la direction de la porte fermée ; on ne peut en placer une dans la direction de la porte ouverte, parce qu'elle serait trop près du parement extérieur du bajoyer ; on l'incline un peu d'avantage dans la maçonnerie.

*Roulettes et verrins.*(*) On a employé quelquefois des roulettes pour soulager le poteau tourillon. Ces roulettes ne présentent pas de grands avantages, car il faudrait pour qu'elles puissent bien fonctionner, qu'elles eussent un grand diamètre et il n'y a, sous la porte, qu'un espace vide de 0,20 au plus. Il faudrait alors entailler l'entretoise inférieure, ce qui l'affaiblirait imprudemment. Quelques-unes de ces roulettes étaient de simples boulets

(*) Orthographe constante dans le manuscrit.

traversés par un axe. Ces axes reposaient sur des oreilles attachées soit au poteau busqué lui-même, soit sur l'entretoise et très près du poteau. Les roulettes ne tournaient pas ; il y avait un frottement très considérable à la partie inférieure, les portes se gauchissaient et n'avançaient que par secousses lorsqu'on les manoeuvrait. Comme du reste ce qu'il importe, c'est que le ventail ne reste pas longtemps dans une position fatigante, il est bien préférable de substituer aux roulettes les verrins. Ce sont des tiges en fer terminées par une vis à leur portion supérieure. Ces tiges portent dans une petite crapaudine fixée au radier. Quand on veut manoeuvrer la porte, on tourne le verrin. Il ne porte plus, le mouvement s'opère et dès que la porte est arrivée à une des positions qu'elle doit occuper longtemps, on descend le verrin et la porte repose alors sur deux appuis.

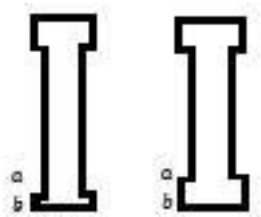
*Poutres armées*. Nous avons vu qu'il était, pour certaines portes, impossible de trouver des pièces d'un équarrissage suffisant. On en emploi alors qui sont formées de deux parties. La face de contact est à peu près au milieu de l'épaisseur totale, là où on suppose que se trouve la fibre qui n'est ni pressée, ni tirée.

Pour que ce système résiste bien, il faut que les deux pièces soient parfaitement solidaires et qu'elles adhèrent l'une à l'autre aussi bien que si la pièce était continue.

Les pièces sont assemblées par des boulons et des redents. Les trous des boulons et les redents doivent être exécutés avec beaucoup de précision, les redents surtout. Lorsque la pièce est soumise à un effort considérable, les parties dures de chaque pièce pénètrent dans les parties molles de l'autre, il y a glissement des faces superposées et la double pièce ne résiste plus comme une pièce unique. On remédie à cet inconvénient au moyen de petites cales en tôle.

Chaque redent doit avoir une longueur suffisante pour qu'il ne soit pas emporté par la pression qui s'exerce contre la petite face. C'est ainsi que lorsqu'un arbalétrier vient s'assembler sur un tirant, il faut que ce dernier soit prolongé sur une certaine longueur, sans quoi la pression ferait éclater le bois. Cette résistance du bois parallèlement aux fibres n'est pas bien connue. Elle peut être approximativement évaluée au dixième de la résistance à la rupture perpendiculaire aux fibres.

Pour arriver à ce résultat, M. Bernard a fait une série d'expériences qui consistaient en ceci. Il a pris des cylindres de bois d'égale épaisseur, démaigris cylindriquement d'une même quantité en leur milieu. Les têtes des parties inférieures avaient seulement des hauteurs $a$ $b$ variables. Ce cylindre était fixé par sa partie supérieure à une forte traverse au moyen d'un collier à oreilles passant sous le renflement supérieur.




Sur le renflement inférieur était placé un collier semblable auquel on suspendait une grande caisse pouvant contenir jusqu'à 10 mètres cubes d'eau. On pouvait, au moyen de deux robinets, faire varier le poids d'une manière continue et facile à apprécier. On opérait successivement sur les cylindres à partir de celui dont la hauteur $a$ $b$ du renflement était le plus faible. Tant que l'anneau formant ce renflement était arraché par

glissement le long du cylindre, on prenait des renflements de plus en plus longs jusqu'à ce que l'on arrive à un renflement tel que ce fut le cylindre de démarrage qui se rompit transversalement sous la charge. Par ce mode d'expérimentation, pour une section transversale constante, on augmentait successivement la surface sur laquelle le glissement tendait à s'effectuer. On arrivait ainsi à la surface pour laquelle la résistance au glissement était égale à la résistance à la rupture transversale.

Toutes les expériences de M. Bernard l'ont conduit à ce résultat que la première de ces résistances était 10 fois plus faible que la deuxième. Il est évident que dans la pratique il ne faudra pas soumettre les pièces à des charges dépassant le quart ou le tiers de celles qui produiraient la rupture.

On peut encore réunir deux pièces de bois au moyen de tampons métalliques ou de bois dur, de gayac par exemple. On perce les deux pièces avec une tarière, puis une fois le trou fait, sur la face qui doit être la face de contact, on élargit ces trous de manière à leur donner 2 à 3 centimètre de diamètre et 5 à 6 de profondeur. On espace ces trous de 7 à 8 centimètres en les plaçant alternativement de chaque côté de l'axe de la pièce pour ne pas faire porter l'effort sur la même fibre longitudinale. Dans ces trous on chasse fortement des cylindres de gayac. L'autre pièce est placée sur ces cylindres, et comme les trous correspondent parfaitement, on peut faire entrer les cylindres dans la seconde pièce qui se trouve ainsi parfaitement adhérer à la première sans que l'équarrissage ait été en rien diminué.

V*entelles*. Dans les bassins à flot, le niveau de la retenue est ordinairement celui des hautes-marées moyennes. Par conséquent les jours où la marée dépasse cette hauteur moyenne les portes s'ouvrent facilement et en quelque sorte d'elles-même. Mais les jours où la marée n'atteint pas cette hauteur, il faudrait, pour ouvrir les portes, vaincre l'effort exercé sur elles par la différence de niveau de la retenue et de la marée du jour, différence qui peut s'élever à 0,50. On remédie à ces inconvénients au moyen des ventelles, à l'aide desquelles on rétablit l'égalité de niveau entre le bassin à flot et l'avant-port.

Il convient de réduire autant que possible la saillie formée par les coulisses dans lesquelles glissent les ventelles. Si cette saillie était très considérable, on serait forcé ou d'augmenter la profondeur de l'enclave, ou de pratiquer à la partie inférieure un refouillement nécessaire pour le loger.

Les ventelles sont très utiles pour opérer de petites chasses au pied des portes, on enlève la vase qui s'y dépose ordinairement. Ces chasses se font à marée basse avec l'eau de la retenue. Quand il y a des dépôts intérieurement, ce qui du reste est rare, on pourrait, les jours de haute-mer, de vives eaux, faire une chasse de l'extérieur dans l'intérieur. Du reste quand les alluvions sont un peu considérables, il devient nécessaire de faire des chasses tangentielles aux portes. On pratique, comme cela vient de se faire à S$^{t}$ Malo, dans le bajoyer, à 2 ou 3 mètres de profondeur, un conduit faisant communiquer les deux côtés de la porte. On peut alors faire des chasses dans les deux avec la plus grande facilité. Seulement, comme il serait difficile d'avoir des vannes pouvant bien résister dans les deux sens, à moins d'employer des

vannes métalliques construites avec beaucoup de soin, on place dans la conduite une double vanne.

Les ventelles des portes d'écluses sont ordinairement placées entre les deux entretoises inférieures et près du poteau busqué. On ne pourrait, à cause du bracon, les rapprocher du poteau tourillon, et même il convient alors de placer l'écharpe sur l'extrémité de l'avant-dernière entretoise.

Les ventelles se lèvent au moyen de leviers, de vis ou de crics. En employant un levier, agissant dans le plan de la porte, faisant mouvoir une portion de roue dentée qui engrène dans la crémaillère de la tige de la ventelle. La vanne peut être levée instantanément tandis qu'avec les crics il faut une demi-minute, et avec les vis une minute entière. Le premier moyen est le plus avantageux, en ce sens que les chasses sont d'autant plus efficaces qu'elles sont plus promptes.

*Bordages*. Les bordages ont de 0.08 à 0.10 d'épaisseur. Ils s'assemblent dans des feuillures pratiquées sur les entretoises extrêmes. et sur les poteaux. En ne pratiquant pas ces feuillures et en clouant simplement ces bordages, il serait très facilement arrachés. Les bordages sont parallèles au bracon ou verticaux. Ceux-ci fortifient la porte en transmettant à l'entretoise supérieure, toujours d'un fort équarrissage, une partie de la pression qu'elles supportent. Il faut alors couper le bracon en autant de morceaux qu'il y a d'intervalles d'entretoise. Les bordages diagonaux soutiennent l'entretoise supérieure et remplissent à peu près le même but que le bracon, mais ils ne portent pas également.

Les feuillures avant de recevoir les bordages, doivent être goudronnées avec soin et tous les joints calfatés.

*Portes semi-flottantes*. On a cherché par l'emploi du sapin du nord à faire en sorte que le poids d'un ventail fut à-peu-près égal à celui du volume du liquide déplacé. Comme un mouvement ne s'opère qu'à marée haute et que lorsque le ventail est en place, il repose sur le verrin. On diminue ainsi notablement la fatigue qu'a à supporter le poteau tourillon.

*Portes courbes*. Il est de plus en plus difficile de trouver des bois d'un équarrissage suffisant pour la construction de portes droites, et le prix de ces bois s'accroît énormément de jours en jours. On a songé alors à faire des portes courbes pour lesquelles on peut employer des pièces d'un plus faible équarrissage. On sait que la courbure joue un très grand rôle dans la résistance des pièces. Une pièce droite posée sur deux appuis et chargée uniformément se courbe et prend une flèche qui varie comme le poids. Si on pose une pièce courbe entre deux culées et qu'on la charge uniformément, le centre s'abaisse et les reins s'exhaussent. Supposons par exemple une pièce de 15 à 20.00 posée sur deux culées. Divisons la en 9 arcs. Lorsqu'elle sera chargée, on observera que les flèches des trois axes du milieu diminueront, tandis que les flèches des arcs des parties extrêmes. augmenteront au contraire. Il y aura ainsi deux espèces de noeuds situés aux deux tiers de la longueur totale qui ne changeront point de

courbure. La pièce en son milieu se comportera donc comme une pièce trois fois moins longue en présentant par conséquent une résistance beaucoup plus considérable.

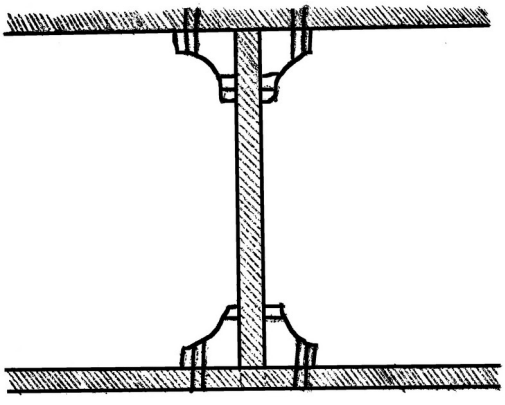
On a essayé de courber les bois par la vapeur d'eau, mais ce procédé ne donne pas toujours de bons résultats ; la vapeur d'eau détruit une partie du mucilage de la sève du bois. Or c'est précisément cette sève qui donne du liant aux fibres, ce qui leur permet de glisser les unes sur les autres, de sorte que le bois soumis à un effort fléchit avant de se rompre, tandis que les bois qui ont été soumis à l'action de la vapeur deviennent cassants, et que pour eux la rupture suit presqu'immédiatement la moindre flexion. Des portes courbes construites au port de Brest ont durées 30 ans et on les remplace par de nouvelles exactement semblables. L'équarrissage de la plupart des pièces ne dépasse pas 0.40, les bordages sont à l'amont. Les étriers et les équerres sont remplacés par des fourchettes en cuivre placées sous les entretoises. Dans l'ancienne porte, les entretoises s'assemblaient à double tenons ; on laissait les mortaises un peu plus grandes que les tenons, et pour remplir le vide, on y introduisait les deux branches de la fourchette. La tige placée ainsi sous l'entretoise y était fixée au moyen de boulons. Comme ces boulons entamaient la pièce verticalement, cette disposition était sans nul danger et de beaucoup meilleure que celle qui consiste à placer les boulons transversalement.

*Portes en fonte*. Les motifs dont nous avons parlé, la rareté et le prix élevé des bois, ont porté à étudier l'emploi de la fonte et du fer forgé dans toutes les constructions et aussi dans les portes d'écluses. On a essayé des portes en fonte avec bordages en bois à Cherbourg, mais elles n'ont pas réussi et ont dû être remplacées par des portes en bois. Dans les Annales, janvier 1842, M. Dufresne a donné une description de ces portes. En voici quelques passages.

Les entretoises sont en fer fondu. Elles sont évidées et garnies d'une fourrure en bois sur laquelle on cloue les bordages.

Les poteaux tourillons et busqués sont également en fonte ; les premiers ont la forme d'un demi cylindre creux, les seconds sont plats et revêtus d'une garniture en bois taillée en coin suivant l'angle du busc de manière à opérer une fermeture complète.

Ces portes ne devaient pas avoir des bracons. Une simple écharpe devait les maintenir rectangulaires.



L'ajustage des pièces avait été fait avec un soin extrême, et lorsqu'après la pose on a enlevé tous les supports, les portes ne se sont affaissées que d'une quantité insensible.

Mais les chocs produits par les vagues dans l'avant-port n'ont pas tardé à rompre les entretoises, et après quelques tentatives pour les remplacer en fer forgé, on s'est décidé à refaire les portes entièrement en bois.

Du reste ces résultats se produisent partout. Jamais la fonte ne doit être employée pour pour des pièces exposées à des chocs ; dans toutes les machines il n'y a que les parties stables immobiles que l'on puisse laisser en fonte, les parties mobiles actives, les tiges de pistons, les essieux des roues motrices, etc., doivent toujours être en fer forgé. L'emploi du fer forgé tend à se généraliser de plus en plus et son prix diminue pour ainsi dire à mesure que celui du bois augmente. On a le fer pour 30 à $40^{f}$ les $100^{K}$. Pour $50^{f}$ on serait sûr d'avoir tout ce qu'il y a de mieux. On a fait des navires en tôle, on a fait des portes d'écluses en fonte et tôle pour les canaux, partout l'emploi de la tôle a présenté de grands avantages. On peut d'ailleurs la manier avec la plus grande facilité. Deux feuilles de tôle réunies par une série de rivets présentent une adhérence parfaite. Quand on ne veut pas mettre les pièces de tôle à recouvrement, on les réuni par une bande et deux rangées de rivets. On peut, à l'aide des cornières, reproduire avec des feuilles de tôle toutes les dispositions possibles. Les cornières ont des pièces tirées à la filière. On les place dans l'angle libre de deux pièces que l'on veut réunir d'une manière invariable, et on les fixe à chacune d'elles par une série de rivets. On sait qu'il est impossible de river sur la fonte.

Des portes d'écluses construites entièrement en tôle ne pèseraient que 12 à 15 tonnes, par conséquent beaucoup moins que les portes en bois. Quant à l'oxydation, elle ne serait pas beaucoup plus à redouter que dans les portes en bois qui contiennent des quantité de fer considérables.

Les pièces en fer forgé et aussi en fonte, il est vrai, peuvent bien plus que les pièces en bois, être faites de telle sorte que la matière soit répartie là précisément où on en a besoin ; et cette distribution de la matière est peut-être le plus important dans le phénomène de la résistance des matériaux. Supposons une lame métallique fixée en ses deux extrémités, chargeons-la. Elle fléchira extrêmement. Au lieu d'une lame, prenons-en deux superposées, chargeons les d'un poids double, presque même flexion. Mais au lieu de les mettre en contact, maintenons-les à distance par des cales bien fines, *des croix de S^t André*, en un mot, empêchons le mouvement relatif, le glissement d'une lame sur l'autre. Nous aurons un système qui ne fléchira presque plus sous des charges considérables. Prenons un exemple : soient deux pièces, l'une ayant $5^{mm}$ d'épaisseur, l'autre $2^{mm}$. Leurs résistances à la flexion seront comme $5^3$ est à $2^3$ ou comme 125 à 8. Au lieu de la pièce de 2, prenons deux pièces ayant chacune $1^{mm}$ d'épaisseur et maintenons-les écartée de 3 l'une de l'autre, de façon à ce que tout glissement soit impossible. Nous n'avons pas utilisé plus de matière que précédemment et nous aurons deux pièces dont la résistance à la flexion, au lieu d'être dans le rapport de 125 à 8, seront dans celui de 125 à ($5^3$ - $3^3$) ou 125 à 98.

Mais il faut toujours empêcher le glissement, aussi avons-nous cherché à faire ressortir cette nécessité dans la fabrication des pièces de bois formées de 2 pièces placées l'une sur l'autre. Un système fermé de deux bandes de fer parallèles réunies par des traverses perpendiculaires ne présenterait aucune solidité. Aussi les 3 arcs parallèles du pont d'Austerlitz réunis par des joints normaux ont-ils pu glisser librement les uns par rapport aux

autres, et il y a eu de nombreuses ruptures. Le moyen le plus sûr d'éviter ces mouvements est l'emploi des croix de S$^{t}$ André ou des cercles tangents, ce qui revient au même.

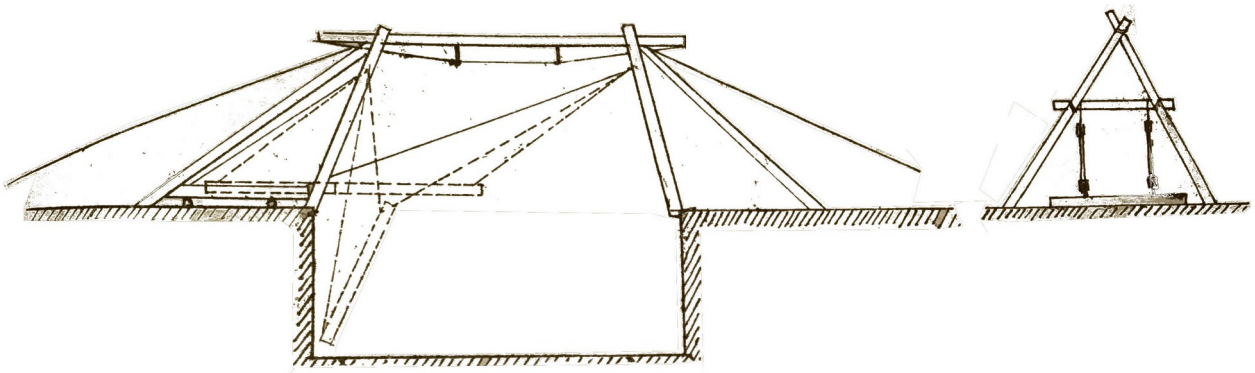
Le fer forgé présente ceci de remarquable que si on charge une pièce de bois, il n'y a pas augmentation de flèche lorsque le bois augmente, et que dès qu'il y a flexion il y a rupture. Cette propriété donne toute assurance pour l'emploi du fer forgé, tant que l'on ne dépasse pas la force que peut supporter le fer tiré ou pressé ; on sera sûr qu'il n'y aura aucune déformation.

*Levage des portes*. Le poids d'un ventail d'une écluse d'un bassin à flot varie de 25 à 50 tonnes. C'est donc un poids très considérable à remuer, aussi le levage des portes présente-t-il toujours quelques difficultés. Lorsque l'écluse est à sec et que l'on a du temps, on peut monter la porte sur place. On fixe d'abord le poteau tourillon dans la crapaudine et dans le collier. On apporte les entretoises que l'on soutient sur des chevalets, jusqu'à la mise en place du poteau busqué. Toutes les pièces peuvent être soulevées par une chèvre et cette méthode est la plus simple mais de beaucoup la plus longue.

On peut aussi mettre en place le ventail tout monté, mais il y a encore deux méthodes. On peut apporter dans le radier toutes les pièces de la porte et la monter sur ce radier. Pour mettre le ventail en place, il faut lui faire opérer quatre mouvements principaux. 1° on le lève en le faisant tourner autour de l'arrête inférieure, 2° on l'enlève au-dessus du radier, 3° on l'amène à l'aplomb de la crapaudine et 4° on le laisse tomber.

On saisit la porte au moyen de deux élingues que l'on attache à deux crocs à palans. Chaque palan se compose de 6 filins, de 0,04 de diamètre, de chanvre blanc neuf et peut porter 18 tonnes (un fil de 0.015 de diamètre peut supporter 1500$^{K}$ avant de se rompre, mais il ne faut lui faire porter que le tiers de ce poids). On a sur le quai deux lignes fortement amarrées par des haubans, on agit avec deux cabestans sur les garants des 2 palans et on fait faire à la porte les deux 1$^{ers}$ mouvements dont nous avons parlé. Cela fait, on attache un palan latéral à un des gros palans et avec un troisième cabestan on amène le poteau tourillon à l'aplomb de la crapaudine et on le laisse aller.

Enfin, quand on est pressé, on peut se dispenser de monter la porte sur le radier de l'écluse. On place sur chaque bajoyer une bigue formée pour plus de sécurité de quatre pièces assemblées au sommet. Ces bigues sont retenue par des haubans et réunies par une longue *sapine*. Pour prévenir la flexion de cette grande pièce, on peut employer une chaîne et deux



pièces de fonte, de manière à l'armer très solidement. On amène sur des rouleaux le ventail tout fait entre les quatre poteau de la bigue. La porte, au moyen d'élingues et de palans, est élevé très peu au-dessus du sol, puis en agissant sur les palans de la bigue placée sur le bajoyer opposé, on amène la porte toute entière en débord. Alors on lâche peu à peu sur les cabestans et la porte descend d'elle-même. En enroulant la corde sur une bitte, on peut larguer aussi doucement qu'on le désire et mettre en place le ventail sans aucune secousse. Ce mode de levage qui exige plus d'apparaux que les précédents présente de grands avantages. Le système se trouve monté à la fois pour les deux portes. On peut en deux ou trois jours, avec 6 cabestans et 6 palans, mettre en place une paire de portes, et tous les autres systèmes à exercer, car il suffit de lever le ventail à quelques centimètres du sol ; il faut ensuite beaucoup moins de force pour déplacer le ventail, une fois suspendu par les élingues.

## Manoeuvre des portes d'écluse.

Pour ouvrir les portes, on peut employer un cordage attaché à l'extrémité du poteau busqué et qui s'enroule sur un cabestan fixé sur une mèche noyée dans le bajoyer. Ce cabestan est placé en amont de la porte sur la ligne perpendiculaire au ventail dans sa position moyenne. Par conséquent sur la corde de l'arc décrit par le poteau busqué à peu près à $2^{m}.50$ de l'arête du bajoyer. De cette façon la traction, d'abord inclinée sur le ventail, lui devient normale puis inclinée en sens contraire, et de la même quantité qu'auparavant.

Pour fermer la porte, on a une autre corde également attachée à la tête du poteau busqué et enroulée sur un cabestan placé sur le bajoyer opposé et en aval de la porte. Il faut, tant que la porte est ouverte, que cette corde pende à travers l'écluse. Elle gène alors les navires qui entrent ou qui sortent.

Ces inconvénients à fait renoncer aux cordages. On les a remplacés par une bielle rigide, fixée à charnières au poteau busqué, et aux extrémités de laquelle est attaché une corde assez lâche pour pouvoir faire un tour ou deux sur un cabestan. En tournant le cabestan, soit dans un sens, soit dans l'autre, on tire la corde et par suite la bielle qui dans un cas tire la porte pour l'ouvrir, dans l'autre la presse pour la fermer. Le cabestan est le même que celui qui servait à ouvrir la porte dans le $1^{er}$ système.

Cette disposition a été employée dans beaucoup de localités et avec succès, mais elle usait beaucoup de cordes. De cette bielle, on a été amené facilement à une crémaillère en fonte engrenant avec un pignon à 6 dents, et c'est sur ce pignon qu'agissent les hommes chargés de la manoeuvre. Il devient nécessaire alors de soutenir la crémaillère devant son pignon, car rien ne l'empêche de s'en écarter. Pour cela, on place devant le cabestan et sur la bissectrice de l'angle formé par les normales aux positions extrêmes de la crémaillère, un poteau vertical. Placé ainsi, ce poteau tout en maintenant la crémaillère, lui laisse un certain jeu et lui permet de passer d'une de ses positions extrêmes à l'autre. Mais il arrive que ce système appliqué à de grandes portes, que la crémaillère ne peut se soutenir droite, qu'elle plie et qu'elle engrène

mal avec la lanterne. On pourrait facilement faire des crémaillères en bois et fer, moins lourdes que celles en fonte et qui résisteraient mieux.

Mais tous ces procédés ont l'inconvénient de tirer les portes par la partie supérieure ; elles tendent à se gauchir. Lorsqu'elles sont à roulettes cet effet est presque inévitable. Pour de grandes portes comme celles de S$^{t}$ Malo, on peut dire qu'il y aurait impossibilité absolue de les manoeuvrer de cette manière. Voici les principales dispositions qui ont été adoptées pour celles-ci. On pratique dans chaque bajoyer deux puits verticaux, l'un pour l'ouverture, l'autre pour la fermeture des portes. Pour la première opération, le puits descend à 2.77 du radier. Dans ce puits se trouve un axe vertical portant deux fusées sur lesquelles s'enroulent deux chaînes qui viennent saisir le poteau busqué en deux points différents. Pour fermer la porte il faut manoeuvrer sur le bajoyer opposé, mais quand les 2 portes sont ouvertes, il ne faut pas que les chaînes servant à cette manoeuvre restent tendues dans l'écluse. Il faut qu'elles descendent à peu près verticalement au droit de chaque bajoyer et qu'elles tiennent sur le fond de l'écluse. Il faut donc qu'elles aient une grande longueur. On ne pourrait les enrouler sur un arbre ordinaire. Il faut se servir alors d'un cabestan à empreintes, dont les parties saillantes retiennent successivement les parties rentrantes de la chaîne. La chaîne alors, après avoir passé sur ce cabestan passe sur une poulie à axe horizontal et descend dans le puits. On conçoit que lorsqu'on fait tourner un cabestan pour une des manoeuvres, il faut que le cabestan servant à l'autre tourne en sens contraire.

Pour diminuer le nombre d'hommes nécessaires pour cette manoeuvre (il en eut fallu mettre 16 sur les barres du cabestan), on a pris un cabestan à engrenages, mais aussi on mettra 15' pour ouvrir les portes. C'est un temps considérable, mais pour des portes de cette dimension, il était bien difficile de réunir tous les avantages.

Après tous ces détails relatifs à la construction, au levage, à la manoeuvre des portes, prenons-les en place et voyons si elles peuvent fonctionner isolément et maintenir l'eau à un niveau constant dans le bassin à flot dont elles ferment l'entrée. Malheureusement il n'en est pas ainsi : quand la houle venant du large est un peu forte et vient frapper contre les portes, elles ne peuvent résister à cet efforts, elles s'ouvrent, puis immédiatement après, le flot se retirant, les portes se referment violemment ; par suite, choc et ébranlement de tous les assemblages. On a cherché à empêcher ces mouvements en réunissant les poteaux busqués par une clavette, cette disposition était bonne. Pour le haut des portes, elles restaient bien jointives à cette extrémité, mais elles s'ouvraient par le bas presqu'autant qu'auparavant où il se produisait les mêmes chocs et les mêmes ébranlements.

On a employé alors des valets qui soutenaient la porte dans toute sa hauteur ; cette disposition a été adoptée à Dunkerque. Les valets sont de véritables portes sans bordages qui viennent s'arcbouter sur les grandes portes quand celles-ci se sont fermées et qui se replient derrière elles dans l'enclave lorsqu'on les ouvre.

Le poteau du valet ne s'appuie pas directement sur la porte, mais sur des coins ou taquets fixés aux entretoises. Les entretoises de la porte valet sont placées dans les parties

correspondantes aux vides de la porte, afin que les taquets n'empêchent pas la porté de se fermer complètement et que l'ensemble tienne le moins de place possible dans l'enclave.

Pour empêcher qu'à la suite d'une secousse un peu forte, imprimée à la porte par la lame, le valet s'échappe, il porte à sa partie supérieure une tige horizontale qui vient passer sur un loquet fixé sur la porte et dans lequel on passe une clavette. De cette façon les deux portes deviennent plus solidaires l'une de l'autre.

Malgré les valets, les portes sont encore très fatiguées et à S$^{t}$ Malo par exemple, cette disposition ne présenterait pas assez de résistance. On place alors en tête de l'écluse des portes de flot dépassant la hauteur des plus hautes marées connues. Elles ne diffèrent en rien des portes d'*Ebbe* dont nous avons parlé, seulement elles sont busquées en sens contraire.

Les portes d'écluse ont malheureusement souvent besoin de réparations. En ne plaçant à l'entrée d'un bassin à flot qu'une seule paire de portes d'Ebbe, on conçoit quels inconvénients résulterait de leur enlèvement ou de leur chômage, tous les bâtiments seraient obligés de supporter l'échouage ou de changer de bassin, ce qui souvent ne serait pas possible. Et pour une pièce de bois à remplacer, on se verrait privé de tous les avantages d'une construction aussi considérable qu'un bassin à flot. Aussi partout met-on deux paires de portes d'Ebbe, de sorte que l'ensemble d'une écluse complète doit présenter deux portes d'Ebbe et une de flot. Les Hollandais ont employés quelquefois deux portes de flot, mais cela n'est nullement nécessaire, puisqu'on se voyait réduit à mettre deux paires de portes d'Ebbe. On a voulu utiliser cette disposition en échelonnant la hauteur d'eau qu'elles sont destinés à maintenir. D'abord cela serait fort difficile à obtenir, les infiltrations à travers la première porte ne tarderaient pas à remplir l'espace compris entre les deux, espace toujours peu considérable, de sorte que la seconde porte porterait tout, ou il faudrait une surveillance très active pour maintenir avec des ventelles les niveaux aux hauteurs convenables. Enfin, et c'est là l'objection la plus grande que l'on puisse faire à ce système, aucune des deux portes n'est faite pour porter la charge totale. Supposons en donc une en réparation, à quoi servirait l'autre ? Ainsi il ne faut pas reculer dans l'emploi de deux paires de portes capables de résister isolément à toute la charge. L'utilité est tellement grande que la dépense est plus que compensée.

## Des curages et des chasses.

La mer apporte des galets, des sable et de la vase. Les galets, si l'on a suffisamment prolongé la jetée au vent, n'entrent pas dans le port ou forment un poulier à l'extrémité du chenal mais rarement dans l'avant-port. La vase va partout, la plus petite agitation suffit pour la maintenir en suspension plusieurs jours de suite, aussi pénètre-t-elle dans toutes les parties du port.

Pour se débarrasser des galets, il faut les enlever au fur et à mesure qu'ils arrivent. On leur ménage en avant de la plus longue des deux jetées formant le chenal un certain espace, une espèce de parc où ils se déposent. On fut d'abord épouvanté de cette idée et l'on crut impossible de pouvoir enlever tous les galets apportés par le courant dans une année. On croyait qu'ils venaient en bien plus grande quantité qu'ils ne viennent réellement. Au Havre, on en enlève annuellement 10,000 et on regrette qu'il n'y en ait pas d'avantage.

Ces galets servent de lest. Il en faudrait 40,000$^{m}$ pour les besoins du commerce du Havre. En disposant ainsi un parc aux galets, on a les plus grandes facilités pour les enlever. On arrive à marée basse avec des tombereaux et on les charge ; on peut aussi avoir des chalands grossièrement construits que l'on amène à marée haute, on les échoue et à marée basse on les emplit. À marée haute, ils flottent de nouveau et on les emmène. Ce procédé, au premier abord, peut paraître préférable, il ne paraît pas qu'il en soit ainsi. Ces chalands, quelques grossiers qu'ils soient, exigent une mise de fonds assez considérable, leur entretien est dispendieux, on use beaucoup de cordages, tandis que des tombereaux, au contraire, n'exigent presque point de capitaux et d'entretien. À S$^{t}$ Malo, les déblais étaient fait avec des chalands. Des entrepreneurs ont proposé de le faire à meilleure marché en se servant de tombereaux.

Dans les parties qui ne découvrent pas, il faut recourir à d'autres moyens. Quand on n'a que 2$^{m}$50 à 3$^{m}$00 d'eau, on peut se servir de dragues à main. Les déblais sont immédiatement déposés sur les bateaux où se tiennent les ouvriers. L'emploi de ces dragues a cet inconvénient d'une main d'oeuvre assez dispendieuse, mais aussi il n'exige pas de capitaux.

Pour de grandes profondeurs, il est convenable de se servir de grandes dragues mues par des treuils dans lequel tournent des hommes, ou par des machines à vapeur, ou tout autre moteur.

On peut avoir sur un bateau deux arbres horizontaux mus par un moyen quelconque, sur lesquels s'enroulent deux cordes qui mettent en mouvement deux grandes dragues, de telle sorte que lorsque la corde enroulée sur l'arbre principal fait monter une cuillère chargée, l'autre enroulée sur le second fait descendre celle qui est vide. Lorsque la cuillère chargée est au-dessus de l'eau, on amène dessous un bateau, on lâche un clapet au fond de la cuillère et on fait tomber la charge. On peut employer des cuillères qui amènent 1$^{m}$50 à 2$^{m}$ de déblais à la fois. Pour de grandes profondeurs, c'est encore cette drague qui donne des déblais à meilleur marché.

On emploie aussi les dragues à hotte. C'est une chaîne sans fin qui tourne sur un arbre carré, de deux en deux chaînons est une hotte en tôle. La seule précaution à prendre, c'est lorsque l'échelle qui porte la chaîne sans fin est inclinée, les hottes ailleurs, lorsqu'elles sont dessus de bas en haut ; de cette manière une hotte qui arrive au dessous de l'échelle et qui, au moment où elle va tourner pour remonter rencontre un certain obstacle soulève un peu l'échelle et il n'en résulte aucun inconvénient. Tandis que si le mouvement avait lieu en sens contraire, une hotte qui, au moment de tourner à l'extrémité de l'échelle, rencontrerait un obstacle quelconque, ne ferait pour le vaincre qu'appuyer l'échelle sur le sol, et pourrait la

briser ou se briser elle-même. Cette direction du mouvement est d'ailleurs nécessaire pour le versement des déblais dans les hottes qui les reçoivent.

Ces déblais enlevés par les machines à hotte sont reçus dans des bateaux placés au dessous. Il importe de répartir la charge aussi uniformément que possible dans tout le bateau. Pour cela, le dégorgeoir au moyen duquel se vident les hottes, est disposé de manière à ce que les déblais soient jetés dans l'axe de la hotte. Les déblais se répartissent alors symétriquement. On n'a plus qu'à donner au bateau un mouvement de translation. Il faut de plus que ces hottes aient une grande capacité car il y a toujours une perte de temps assez considérable lorsqu'on remplace une pleine par une vide.

Les vases ou graviers ainsi dragués sont employés comme remblai, comme lest ou jetés au large. Dans les deux premiers cas, les bateaux chargés sont amenés à quai et déchargés comme une marchandise ordinaire. On peut alors avec avantage placer sur le bateau une série de caissons que l'on empli comme si le bateau était plan. Le bateau chargé arrive sous un embarcadère, les caisses sont saisies par une grue et chargées sur des trains qui, au moyen de chemins de fer, les conduisent aux endroits où s'effectuent les remblais. Quand on a des remblais un peu considérables à effectuer, c'est ainsi qu'il faut opérer car le transvasage à la pelle, surtout pour la vase, est très dispendieux.

Pour jeter les déblais au large, on se sert de chalands à clapets que l'on ouvre, et toute la charge tombe. Il faut choisir avec beaucoup de soin les endroits où l'on va faire ces dépôts, car il faut être sûr que le courant, aidé de la lame, ne les rapportera pas dans le port. Mais généralement les courants sont bien déterminés de position, et en choisissant des endroits très profonds qui ne soient sur la ligne d'aucun courant, on peut être tranquille.

Une machine à hottes peut curer $2^{m}50$ de vase par force de cheval et par heure. Ces résultats sont du moins applicables aux machines employées ; jusqu'ici on n'a guère dépassé 10 chevaux. Il est beaucoup plus avantageux de donner un mouvement lent aux hottes que de les faire marcher rapidement. En agissant ainsi, il y aurait des chocs qui ébranleraient la machine et des pertes de force considérables. Or, en employant des machines plus fortes, il faudrait, si on gardais les même hottes, les faire tourner plus vite, or nous venons de voir ce que cette disposition avait de mauvais, ou il faudrait augmenter la grandeur des hottes, mais la résistance offerte par le terrain croîtrait tout de suite dans une proportion considérable. Il serait imprudent de dépasser 20 chevaux ; et en tous cas deux machines de 10 chevaux produiraient beaucoup plus qu'une machine de 20 chevaux.

On sait que pour que la mer puisse transporter des galets ou des sables, il faut que le courant et la lame concourent à cet effet. On a pensé alors qu'en agitant l'eau artificiellement, on pourrait profiter du courant de jusant pour enlever les vases. À Rochefort, il s'était fait un dépôt considérable à l'entrée du bassin de radoub. M. Hubert pensa à faire promener sur le fond une espèce de herse marchant au moyen d'un moulin à vent. Les vases furent soulevées et emportées. Ce moulin établi il y a plus de 30 ans subsiste encore et fonctionne toujours avec succès.

On peut ainsi, en aidant le courant, lui faire faire à sa sortie dans le chenal, les mêmes effets que ceux qu'il y a produits en arrivant aidé de la lame. On peut augmenter sa vitesse en le forçant à passer entre deux pontons. Il se forme alors une petite retenue à l'amont et le courant qui s'établit au-dessous entraîne les sables et même les galets. On s'est servi avec succès d'un procédé analogue pour creuser des chenaux dans les masses de sable qui viennent annuellement entraver la navigation de la Garonne.

Nous avons vu que dans certaines localité, au Havre par exemple, on pouvait se débarrasser des alluvions par des dragages annuels. Mais pour compter sur le succès de ces dragages, il faut bien connaître la localité dans laquelle on veut les opérer. Il faut être sûr que l'espace réservé pour ces dépôts sera assez grand pour qu'une seule tempête ne puisse le combler, car alors les galets dépassent la jetée au vent entrant dans le chenal. Il faudrait alors recreuser non seulement le chenal, mais encore le parc aux sables, car sans cela, les sables et galets ne rencontrant plus, avant d'arriver dans le chenal, une profondeur plus grande que celle à laquelle ils cheminent, ne se déposeraient pas avant le chenal et la passe serait constamment fermée.

Ainsi, dans quelques ports, la grande abondance des alluvions s'oppose à ce que l'on puisse sans inconvénients les laisser se déposer dans un endroit déterminé. Pour ces ports, à la suite d'une tempête, l'entrée de la passe peut, pour ainsi dire, être instantanément comblée. Il faut alors des moyens instantanés pour pouvoir la rouvrir aussi vite qu'elle a été fermée.

On a jusqu'ici peu employé le moyen d'aider le courant de jusant par une agitation artificielle, comme nous l'avons vu faire à Rochefort. Le procédé le plus efficace consiste dans les chasses. On retient l'eau à mer haute dans un bassin et on ne lui donne la faculté de s'échapper qu'à mer basse. On forme ainsi à la fois un mouvement et une agitation très grande, et les alluvions sont soulevés et entraînés.

Les chasses ont été originairement faites avec les eaux des bassins à flot. On ouvrait des ventelles dans les portes d'écluses, puis ce premier moyen reconnu insuffisant, on pratiquait des ouvertures dans les bajoyers. Mais le bassin à flot se trouvait presque toujours au fond de l'avant-port, celui-ci recevait seul les premiers effets de la chasse et ce n'était qu'en vertu de l'exhaussement, d'ailleurs assez faible, du niveau qui s'y faisait, que l'eau s'écoulait dans le chenal après avoir perdue toute son énergie. Aussi, si les chasses faites au moyen des bassins à flot ont l'avantage d'être économiques et de nettoyer l'avant-port, elles ont l'inconvénient d'agiter les bâtiments qui s'y trouvent et d'être insuffisantes pour nettoyer le chenal. On a été ainsi conduit à créer des retenues particulières pour les chasses. On a cherché alors à les placer le plus près possible du chenal pour que le courant ait encore toute son énergie lorsqu'il rencontre la masse principale à expulser.

Dans les différentes retenues construites en vue spéciale des chasses, la tendance a été de les faire de plus en plus hautes et de donner à l'orifice d'écoulement la plus grande section possible. On conçoit en effet qu'une petite masse passant sur un obstacle d'une certaine étendue aura usé toute sa puissance vive au bout de très peu de temps, tandis qu'une énorme

masse animée d'une grande vitesse frappera avec une grande force tous les alluvions jusqu'à l'extrémité du chenal.

Au Havre, le bassin de la Floride qui a 7 hectares est insuffisant. À Ostende, à Dunkerque, des retenues de 30 hectares produisent de bons résultats, surtout à Dunkerque, où l'écluse de chasse est près de l'extrémité du chenal. À Boulogne la retenue a 60 hectares mais c'est trop et 30 hectares suffiront presque toujours, même si on ne peut joindre à la grande chasse des chasses partielles opérées simultanément dans l'avant-port avec les retenues du bassin à flot. Nous allons voir quels avantages on peut retirer de l'ensemble de ces dispositions.

Supposons l'écluse de chasse juste en face du chenal et l'avant-port placés latéralement. Dès qu'on ouvrira l'écluse, l'eau se précipitera dans le chenal, mais au moment où elle l'atteindra, il y aura déjà eu une très grande perte de travail utile car, outre les remous qui accompagnent toujours la contraction de la veine, cette veine rencontrant une eau tranquille, il se formera à l'entrée de l'avant-port un immense remous. Ensuite une très grande quantité d'eau se répandant dans l'avant-port, son niveau ne cessera de s'élever que lorsque l'écoulement par le chenal sera le même que celui qui a lieu par l'écluse. Toute cette eau reçue par l'avant-port sera donc perdue, car lorsque la chasse sera terminée, ou la marée montante atteindra bien vite son niveau, ou, si elle a le temps de s'écouler par le chenal, ce sera avec une vitesse trop faible pour en obtenir aucun résultat.

Mais si, un peu avant d'ouvrir l'écluse de chasse, nous commençons de petites chasses dans l'avant-port, son niveau s'élèvera et un courant commencera à se produire à l'entrée ; en opérant alors la chasse principale, la veine ne rencontrera plus une eau tranquille mais un courant, bien plus faible il est vrai, et le remous sera toujours considérablement diminué. En outre le niveau de l'avant-port ne s'exhaussera plus aux dépens de l'eau de la retenue et un bien plus grand volume d'eau passera sur les alluvions avec une grande vitesse.

Les bassins de retenue doivent être alimentés par la mer, on peut, il est vrai, aussi employer à cet effet les petits ruisseaux venant de la terre (ce serait dans la Méditerranée le seul moyen de faire des chasses), mais cela présente plusieurs inconvénients : il est nécessaire de faire plusieurs chasses à l'époque des Syzygies, il faut pouvoir remplir le bassin très rapidement et le débit ordinaire des ruisseaux n'y suffirait pas. En outre, il ne faudrait pas recevoir ces ruisseaux après des orages car ils envaseraient le bassin. En somme, il faut qu'il y ait nécessité absolue de prendre ces ruisseaux pour que l'on se décide à supporter tous les inconvénients qu'ils amènent.

Les écluses de chasse ont à supporter des pressions énormes quand l'écoulement commence. Il se fait à l'ouverture une dépression et un étranglement considérable, qui se continuent à l'aval, puis il y a ressac et la pente se continue d'une manière assez uniforme. Mais l'eau qui passe sur le radier forme des remous violents et tend à produire des affouillements qui ont souvent 5 à 6 mètres et qui ont même été en Hollande de 12 à 13 mètres. Il résulte de là que les écluses de chasse doivent avoir des fondations puissantes, des

gardes radiers, des avant et arrière radiers. il convient de donner à ces deux parties autant de longueur que possible pour résister aux effets des remous à axe horizontal.

L'effet produit par les écluses de chasse croît évidemment avec leur largeur. Le plus souvent on lui donne 8 à 10.00. On en a construit de 12, 16 et même 24.00, mais cela offre de grandes difficultés.

Les chasses se font à l'époque des vives eaux, un peu avant que la mer ait cessé de baisser, pour que la chasse soit terminée dès qu'elle remonte. L'effet le plus ordinaire est de creuser le chenal à une profondeur de $1^{m}00$ à $1^{m}50$ au dessous des basses eaux. Quelquefois, mais bien rarement, on est arrivé à 2.00 au dessous de ce même niveau. Aussi n'obtiendrait-on aucun résultat de chasse faite dans la Méditerranée.

Quand la mer est calme, le courant qui sort entre les deux jetées s'étend et s'éteint à une faible distance. Tous les alluvions se déposent alors en éventail devant l'entrée qui se trouve complètement fermée par un bourrelet circulaire. La chasse n'aurait par conséquent rien produit et il faut qu'une tempête venant agiter toute cette masse d'alluvions, qui forme une véritable barre, en fasse passer une grande partie à l'aval du chenal (par rapport au courant). L'autre partie rentre bien dans le chenal mais on est toujours débarrassé de plus de la moitié. Malheureusement on ne peut pas disposer de la mer et il arrive souvent que plusieurs jours de suite l'entrée du port soit fermé. Il faut alors à tout prix ouvrir une passe. On peut, à marée basse, avec des herses, des barres, remuer toute cette masse et le jusant s'en débarrassera un peu, mais le moyen est peu efficace. Il vaut mieux recommencer des chasses, seulement il faut empêcher l'épanouissement de se former au sortir de la jetée et ne le laisser s'opérer que plus loin, là où le plus ordinairement se trouvent de grandes profondeurs.

Le moyen le plus efficace consiste dans l'emploi des *guideaux* dont s'est servi avec succès Lamblardie père.

Ce sont de simples radeaux formés par quatre poutres longitudinales aussi fortes et aussi longues que possible, réunies par des moises placées assez près deux à deux pour former avec les poutres longitudinales des carrés. Dans ces carrés de 0.30 à 0.40 de côté, et sur un seul bord du radeau, on place des pieux verticaux dont l'enfoncement se règle au moyen d'une crémaillère. On fait flotter les guideaux à mer haute, puis à mer basse on règle les pièces verticales de manière que l'ensemble du guideau repose d'une part sur le côté où l'on a pas mis de pieux, de l'autre sur les extrémités de ces pieux. On place plusieurs de ces guideaux à la suite et en face, les uns des autres. De cette manière on prolonge le chenal entre deux surfaces inclinées aussi loin qu'on le veut.

Cependant les guideaux ne réussissent pas toujours et bien des fois on ne sait comment faire pour débarrasser l'entrée du port. On a proposé divers moyens tous assez dispendieux dont aucun n'a été exécuté. Entre autres, on a proposé une retenue flottante, un bâtiment contenant 1000 à 1200 tonneaux qu'on emmènerait à l'endroit même où l'on veut faire une

chasse ; les dépôts frappés d'aussi près par une masse peu considérable, mais animée d'une grande vitesse, seraient emportés.

Si on parvenait à élever devant le dépôt que l'on veut enlever un plan vertical d'une assez grande hauteur, nul doute qu'une agitation assez faible de la mer n'en débarrassât complètement, car c'est un fait certain et constant, côte *accore,* mer profonde, la lame arrivant contre une paroi verticale se relève à de très grandes hauteurs, il y a ressac considérable, par suite affouillement profond au pied, et dans ce cas, ce serait l'affouillement qui serait le but cherché.

## Moyens de fermeture des écluses de chasse.

Le conduit par lequel l'eau s'échappe de la retenue doit pouvoir être ouvert et fermé à volonté et le plus promptement possible. Pour les premières écluses de chasse construites, on s'est servi de vannes en bois. Ces vannes se levaient verticalement au moyen de deux crémaillères. Sans cette précaution, elles eussent porté plus d'un côté que de l'autre, et il eut été impossible de les faire marcher. Malgré cela, cette disposition était encore bien défectueuse. On ne pouvait pas graisser les coulisses dans lesquelles devaient marcher la vanne. Le frottement était les 0,30 ou 0,40 de la pression, pression qui était énorme. Il fallait pour lever la vanne un temps considérable, et les premières couches d'eau s'écoulaient avant qu'elle ne fût complètement levée et l'effet de la chasse était singulièrement amortie.

Pour diminuer le frottement, les Hollandais ont adapté à la vanne des roulettes qui s'appuyaient sur la coulisse, mais alors la vanne ne s'appliquait plus exactement contre ; elle laissait le passage à l'eau. On s'opposait à cette fuite au moyen d'un poteau tournant placé dans un enfoncement du bajoyer de chaque côté de la vanne et qui la pressait contre le bajoyer. On aurait pu rendre la pression plus énergique encore en prenant un arc de spirale pour le périmètre de la section transversale du poteau.

Malgré cela, il faut toujours un certain temps pour manoeuvrer ces vannes. On a à supporter tous leurs poids qui est quelquefois très grand. On s'est servi alors de contrepoids et il suffisait d'une force beaucoup moindre. On a quelquefois utilisé un appareil analogue à celui dont on se sert pour quelques ponts-levis. Deux fortes chaînes à la Vaucanson portent à leurs extrémités une pièce de fonte horizontale qui se meut sur deux courbes, de cette manière le système est en équilibre dans une position quelconque et peut se mouvoir très rapidement, mais cela est fort compliqué.

Pour toutes ces manoeuvres, et en général dans toutes celles où l'on se sert de crics, il y a un grand avantage à substituer le pignon à deux dents au pignon à quatre dents. D'abord lorsque les deux dents sont en prise avec la crémaillère, elles font fonction de rochet et c'est toujours une pièce que l'on peut supprimer. Ensuite, lorsqu'un homme tourne une manivelle, il n'a pas la même force dans toutes les positions ; il n'y a que deux positions dans lesquelles il

peut exercer un effort considérable. Or, en employant deux fuseaux au lieu de quatre, on pourra faire en sorte qu'il soient placés successivement dans ces deux positions. On a pu ainsi dans beaucoup de cas ne mettre qu'un homme pour des efforts qui, avec les crics ordinaires, en exigerait deux.

Après les vannes à roulette, on a imaginé les vannes tournant autour d'un axe horizontal placé dans le haut, puis au milieu, puis on a fait l'axe vertical. C'était d'abord un simple ventail avec une enclave et retenu sur le bajoyer opposé par un valet ou par un poteau qui avait un côté plus grand que l'autre. Dans une position, il empêchait la porte de s'ouvrir, mais quand on le tournait, la porte s'échappait.

On a reproduit une disposition analogue pour deux vantaux qui ne se joignent pas et qui viennent s'appuyer contre un poteau dont un côté est plus large que l'intervalle qui les sépare, mais dont l'autre côté est plus petit : en tournant alors ce poteau, les portes échappent toutes deux, et on peut avoir ainsi une ouverture assez grande.

Avec des portes ainsi disposées, il n'y a pas moyen d'arrêter la chasse une fois qu'elle est commencée ; il faut que le bassin se vide. Cela présente de grands inconvénients. D'abord cela est inutile à ne considérer que la chasse en elle-même, ensuite il est rare que les bassins de retenue n'aient pas en même temps une autre destination. On y met les vieux bâtiments, les bâtiments de servitude, etc. Et puis la chasse commencée, il peu se manifester un accident qui pourrait devenir très grand si on ne pouvait cesser la chasse. Avec les vannes, on pouvait bien fermer quand on le voulait, mais elles étaient trop petites, et du reste nous avons dit une partie de leurs inconvénients. On a pensé à fixer des portes tournant autour d'un axe placé à peu près en leur milieu. Sur la plus grande des deux faces, on pratique une ventelle dont la grandeur est telle que lorsqu'elle est ouverte, cette partie du ventail a moins de surface que l'autre. On conçoit comment se manoeuvre un pareil système. La porte est retenue par deux poteaux valets analogues à ceux précédemment décrits. La ventelle est fermée. On tourne les valets, la porte s'ouvre immédiatement, mais elle ne vient pas se placer tout à fait dans le fil de l'eau à cause de la pente considérable que prend le liquide. Si quand on veut fermer, on lève la ventelle qui se trouve dans la partie de la porte en aval, cette partie ayant alors une surface moindre que la partie en amont, tourne subitement et l'écluse est fermée. On peut, au lieu d'une seule porte, avoir deux poteaux tourillons et trois poteaux valets.

Comme les bassins de retenue pour les chasses, servent aussi de bassins à flot, il faut les faire communiquer avec l'avant-port. On s'est, dans plusieurs localités, proposé dans un but d'économie de ne faire qu'une ouverture servant à la fois aux chasses et à la navigation. On ne pourrait employer les portes tournantes dont nous avons parlé car le passage qu'elles peuvent laisser libre est beaucoup trop faible pour la navigation.

On a proposé alors des portes busquées dont l'une aurait dans sa partie inférieure une porte dormante mais ce système offrirait bien peu de solidité. La porte ne pourrait avoir ni bracon, ni écharpe. Elles donneraient du nez constamment, ou il faudrait employer de grandes

roulettes ; en tout cas les portes seraient très fatiguées et il y aurait des pertes d'eau considérable par les parties inférieures.

On a exécuté à Gouda, en Hollande, un autre moyen de fermeture. Il consiste en deux systèmes de portes busquées en *A* et *B* (les portes *C* ne sont que pour éviter les pertes dues à une pression continuelle de la retenue). Les portes *A* s'ouvrent d'elles-même et font ouvrir les portes *B*. Lorsque l'on fait écouler par l'aval au moyen des conduits *D*, l'eau qui remplit les espaces *E*, si on veut arrêter l'écoulement il suffira de fermer la communication en *D* et de l'ouvrir en *F* ; alors la pression de l'eau en remplissant les espaces *E*, replacerait les portes *A* et *B* dans leur position primitive.

Dans ce système les portes frottent l'une sur l'autre ; il en résulte une détérioration sensible.

On a exécuté aussi en Hollande un autre système qui ne présente pas le même inconvénient.

Chacune des portes est composée de deux ventaux faisant entre eux un angle déterminé. Lorsque la communication est fermée en *D* et ouverte en *E*, les portes restent fermées parce que le ventail *B* est plus grand que le ventail *C*. Lorsque l'on voudra faire une chasse, il suffira d'ouvrir en *D* et de fermer en *E*, l'eau qui remplit les espaces s'écoulera en *A* et ces portes s'ouvriront d'elles-même. Elles se manoeuvrent bien mais elles ont l'inconvénient d'être lourdes, et il est très difficile de fixer leurs poteaux tourillons aux bajoyers, ces poteaux ne portent uniquement que sur leur crapaudine et leur collier ; il est bon alors de faire des colliers à trois ancres.

Les portes tournantes sont exécutées dans trois systèmes différents, à peu près aussi bons les uns que les autres.

1° On a 7 à 8 montants verticaux, y compris le poteau tourillon et les deux poteaux extrêmes. Deux poteaux extrêmes portent des feuillures dans lesquels on cloue à l'amont et à l'aval des bordages horizontaux qui recouvrent les autres montants. On peut placer des moises en haut et en bas.

2° On n'a qu'un seul bordage formé de madriers inclinés placés à rainures entre le poteau tourillon et les deux poteaux butant. Des traverses horizontales formant moises relient le système à différentes hauteurs.

3° On peut enfin réunir les 3 poteaux butant et le poteau tourillon par des moises horizontales de distance en distance, mais comme un pareil système ne présenterait pas de solidité, le vide des moises est rempli par une fourrure assemblée à tenon et mortaises avec les poteaux. Sur ces espèces d'entretoise, on cloue de chaque côté de la porte des bordages verticaux.

## Bassins de radoub.

Les *formes*, ou bassins de radoub sont des enceintes le plus souvent en maçonnerie, destinés à la visite et à la réparation des bâtiments. Les chantiers d'échouage ayant été disposés à l'avance dans la forme asséchée une première fois, on remet l'eau. Les navires y entrent à flot, aussitôt on ferme l'ouverture, le plus souvent par un bateau-porte. On procède à un nouvel assèchement et lorsque par suite de l'abaissement du niveau des eaux le navire est descendu sur des tins, on l'appuie latéralement par des épouilles placées sur des gradins ménagés à cet effet dans la maçonnerie.

L'assèchement de l'enceinte de la forme a lieu soit par l'écoulement des eaux vers l'extérieur, soit par leur enlèvement à l'aide d'appareils. Dans les ports à marée, cet écoulement se fait ordinairement de lui-même jusqu'au niveau de basse-mer.

La surface intérieure d'une forme se rapproche de celle des bâtiments les plus forts pour lesquels elle est construite.

La question principale dans leurs constructions est celle de la profondeur. Elle dépend évidemment du tirant d'eau des bâtiments que l'on veut y faire entrer ; lequel tirant d'eau n'est pas le même s'ils sont légers ou armés. Jusqu'ici on ne s'est pas hasardé à faire échouer entièrement un bâtiment complètement armé, mais du moins il faut que la profondeur d'une forme soit suffisante pour recevoir les bâtiments auxquels elle est destinée lorsqu'ils sont déchargés seulement de leur eau et de leur artillerie, ce qui peut se faire en 24 heures.

Ainsi on a d'abord ce tirant d'eau, puis il faut sous la quille avoir la place suffisante pour que l'on puisse travailler, enfoncer des chevilles, ce qui exige au moins 1,00, 1,20 puis un radier de 3.00 d'épaisseur. On arrive donc à des cotes de 11 à 12.00 au dessous du niveau auquel le bâtiment est entré dans le bassin à flot. On conçoit alors quelles immenses difficultés doit entraîner une construction semblable dans un port Méditerranéen ; aussi fut-elle longtemps regardé comme impossible à Toulon.

En 1773, M. Groignard entreprit de construire une forme sèche au port de Toulon. Le terrain sur lequel cet ouvrage devait être assis présente d'abord une couche de vase spongieuse contenant des coquilles, des débris de végétaux et quelques parties de sable argileux. Son épaisseur varie de 5 à 11 mètres. Au dessous de cette couche se trouve celle appelée communément *saffre* et qui est un mélange de gravier et d'argile ; son épaisseur est de plus de 50,00. Les graviers que l'on y trouve viennent des montagnes qui dominent Toulon, aussi toutes les couches partielles dont il est formé se rattachent-elles à ces montagnes et offrent-elles un passage à toutes les sources d'eau douce qui en découlent. Le saffre est donc éminemment perméable, de plus il est compressible : 36 pieux de 25 à 30 centimètres de diamètre et de 6 à 7 mètres de longueur battus dans un espace de 36 mètres carrés creusé à 5.00 au-dessous du sol ont à peine exhaussé de quelques centimètres la surface du sol, lequel se trouvait ainsi comprimé d'une quantité presqu'égale au volume des pieux.

M. Groignard crut pouvoir s'établir sur ce sol sans pilotage. À cette époque les caissons étaient encore peu connus. Ce fût lui qui le premier en fit une application sur une aussi grande échelle. Il se proposa d'en construire un étanche assez grand pour contenir tout le bassin.

Comme il eut été impossible de construire à terre ce caisson et de le mettre ensuite à l'eau, on l'établit sur un radeau ; comme ce radeau et ce caisson furent à eux seuls une affaire considérable, il est utile d'entrer dans les détails de leur construction.

"Le radeau, qui devait supporter hors de l'eau le poids du caisson évalué à 2200 tonneaux marins de $1000^{K}$, présentait une surface de $101^{m}95$ de longueur, 37.00 de largeur et était formé d'un premier plan inférieur de matures jointives latéralement et bord à bord, au nombre de 258, ayant des longueurs variables de 19.50 à 26,25 et des diamètres variables de 0,54 à 0,81. Sur ce plan étaient établis transversalement 23 rangs de doubles filières supérieures. Ces pièces de 0,65 d'équarrissage étaient réunies par des bouts de planches cloués extérieurement. Les rangs de filières étaient réunis aux matures du premier plan par des *roustures* bien serrées.

Les 22 intervalles des rangs de filières ayant 1.30 du haut et étaient remplis chacun de trois rangs de futailles vides dites pièces de 4 (d'un mètre cube environ de capacité). Les têtes des futailles étaient couronnées de traverses en bois également rousturées avec les mats.

Toutes ces futailles furent hermétiquement fermées par des bouchons de liège recouverts de toile. Sur le deuxième rang de filière fut posé un plancher en sapin du nord de 0,108 d'épaisseur et présentant des panneaux amovibles au-dessus des bondes des futailles.

C'est sur ce radeau qu'on établit, comme on le ferait sur terre, les tins ou chantiers formés de bouts de bois superposés à la hauteur et à la distance nécessaire pour pour construire, border et calfater le fond et les zones inférieures des parois montantes du caisson. Quand ces parois furent élevées jusqu'à 3.00 de hauteur et bordées jusqu'à 1.95, on enleva tous les parements amovibles du plancher supérieur du radeau et l'on pratiqua d'un chantier à l'autre des caissons ou parquets dont la largeur était la même que celles des filières sur lesquelles elles étaient établies et l'on y arrima 712 $289^{K}$ de saumon de fonte ou de vieux boulets. Tout autour du radeau, dans l'excédent de sa largeur relativement à celle du caisson, on forma 52 autres caisses pour y placer une autre charge de 542 829. Ces surcharges avaient pour objet de faire enfoncer le radeau jusqu'à ce que le fond du caisson arrivât sur l'eau.

Avant de déboucher toutes les futailles pour détacher le radeau du caisson et le faire couler, on avait dû prendre des précautions pour le retenir entre deux eaux,

et l'empêcher de descendre chargé au fond de la mer, d'où il eut été difficile de le retirer."

A cet effet on disposa en-dehors, sur chacun des côté du radeau, des pontons et des *gabares* munies de cabestans, et attachés à des chalands remplis d'eau pour balancer l'effort que les poutres auraient à faire pour soulever le radeau. On fit passer sous le radeau 14 câbles dont les bouts s'enroulaient sur les cabestans des pontons.

Pour déboucher toutes les futailles à la fois, on avait attaché à une même corde toutes les toiles qui enveloppaient les bondes, de sorte qu'en raidissant sur cette corde on pouvait sortir les voiles et par suite les bouchons.

Quand le radeau fût complètement détaché du caisson, on fit flotter celui-ci jusqu'au lieu ou il devait être échoué. On vira aux cabestans des pontons et des gabares pour soulever le radeau uniformément et le ramener à la surface de l'eau. Cette opération ne fût pas aussi heureuse que celle de l'immersion. Les câbles qui passaient sous le radeau ne tiraient pas horizontalement, les rives du radeau s'élevèrent et se rapprochèrent tellement que la partie centrale du radeau étaient encore submergée de plus de quatre mètres, alors que les côtés émergeaient. On parvint cependant à détruire pièce à pièce tout le radeau, sans grandes pertes.

Le fond du caisson était formé de traversines composées chacune de deux cours de pièces de 0,32 d'équarrissage posées verticalement l'une sur l'autre et boulonnées. Elles étaient espacées tant plein que vide, et reliées par des *longuerines* éloignées de 4.55 de milieu en milieu. Ces longuerines, appelées quilles, étaient fermées de quatre cours de pièces ayant également 0,32 d'équarrissage. Trois étaient placées jointivement en-dessous, toutes étaient entaillées à la rencontre des traversines et assujetties par des boulons. Dans les intervalles des longuerines, on avait cloué sur les traversines des bordages de 0,11. On voit par conséquent que les quilles restaient en saillie sur le fond du caisson. Les parois de la caisse étaient fermées dans la partie inférieure de pièces de 0,30 jointives et en double épaisseur.

Pendant que l'on construisait le radeau, M. Groignard fit, avec des machines à draguer, creuser l'emplacement de la forme, il sonda avec soin le fond de la fouille, le fit régaler en opérant des remblais partiels qu'il comprimait avec une dame dont la tige de $11^{m}$ de haut recevait le choc d'un mouton pesant quinze quintaux métriques.

Nous avons vu que le fond du caisson n'était pas plan. Il fallut, sur le fond de la fouille, creuser les rigoles nécessaires pour y placer les quilles, et malheureusement il était impossible de donner à ces excavations la forme exacte de ces pièces.

L'échouage du caisson se fit avec succès. On commençât par le charger avec des moellons, puis, pour bien régler l'enfoncement, on acheva de le couler en le remplissant d'eau. On battit des pieux tout autour pour l'amarrer solidement. Enfin, pour que le tassement du terrain se fit de suite, on chargea le caisson d'un poids de 50,000 tonnes. On avait calculé que le poids total de la maçonnerie d'un vaisseau échoué dans la forme ne devrait être que de 45,000 tonnes.

Au bout de six mois, M. Groignard fit épuiser dans le caisson. Cette opération fut facile. Ensuite on enleva les moellons et au fur et à mesure, on les remplaçait par la maçonnerie du radier établi en voûte inversée. Cela fait on commença les bajoyers. Quand ils furent montés de 2,50, leurs poids fit tasser la portion du radier sur laquelle ils étaient assis. De longues fissures, des bâillements se manifestèrent dans toute la construction, et les eaux se précipitèrent dans l'enceinte. Il fallut démolir les bajoyers. M. Groignard fit creuser sur toute la longueur du radier des rigoles qui amenaient l'eau dans une espèce de puits, et au moyen de 28 chapelets verticaux mus par des hommes, il put mettre le caisson à sec et recommencer la maçonnerie. Plusieurs fois les eaux revinrent. En multipliant les rigoles, on parvint à achever la construction, en accumulant les eaux dans le puits, mais on ne pu parvenir à aveugler les sources comme on l'espérait.

M. Groignard essaya de les emprisonner dans un puits vertical qu'il fit en briques avec d'excellents mortiers de chaux et pouzzolane, mais les eaux rompirent cette maçonnerie. Au lieu de briques il employa la pierre de taille, il ne réussit pas d'avantage. Il prit enfin un puits de bronze mais jamais on ne put opérer la liaison de la nouvelle maçonnerie nécessaire pour l'établir avec la maçonnerie déjà existante.

Les choses en restèrent là pendant 2 ans. Il venait $120^{m3}$ d'eau par heure et il fallait 200 hommes nuit et jour pour maintenir la forme à sec. Il fallait par conséquent 400 hommes sur pied pour l'atelier fonctionnant et pour les relever. Cependant on aimait mieux se résigner à ces dépenses que de se passer de bassin de radoub.

M. Caron, directeur des travaux maritimes à Toulon, eut l'idée d'aveugler les sources avec du béton dont on commençait à faire usage. Il fit nettoyer avec soin le puits d'où sortaient les eaux. On format autour un immense amas de béton et à un instant donné, une masse d'hommes agissant ensemble, jetèrent tout le béton dans le trou. Un instant on crut avoir réussi, pendant quelques secondes les eaux furent étouffées, mais immédiatement après, elles se firent jour et tout le béton fût projeté avec violence ; tous les ouvriers furent couverts de boue et de chaux. M. Caron présent à cette opération vit le moyen de la faire réussir. Il pensa, avec raison, que les eaux tendaient à sortir en vertu de la différence de niveau de l'intérieur et de l'extérieur. Il fit alors faire autour du trou un puits vertical en plancher. On laissa entrer l'eau dans le bassin. Quand elle eut atteint le niveau extérieur, on coula une grande masse de béton dans le puits. Les eaux étaient tranquilles, le béton prit parfaitement, et quand au bout d'un mois on épuisa, les 0,9 de l'eau provenant des sources étaient disparues. Elles ne sont point revenues, et aujourd'hui le peu d'eau qui arrive dans le bassin Groignard ne l'empêche en rien de fonctionner parfaitement.

Un seul bassin de radoub était insuffisant pour un port comme Toulon, et le gouvernement demanda la construction de deux nouvelles formes. Une d'elles devait avoir 0,45 en profondeur de plus que le bassin Groignard. L'autre, plus grande encore, devait pouvoir admettre un vaisseau du plus haut rang déchargé seulement de son eau et de son artillerie.

Devait-on opérer comme l'avait fait M. Groignard ? D'abord la dépense avait été énorme : elle avait été de 2 050 000$^{f}$ de premier jet, sans compter les dépenses postérieures. Le caisson lui-seul avait coûté 700,000$^{f}$ et à cette époque (1774) l'argent avait une valeur au moins double de celle qu'il a aujourd'hui. On pouvait attribuer le premier insuccès de la construction à la compressibilité du sol dont on n'avait pas assez tenu compte. Ensuite il n'y avait pas eu contact immédiat entre le sol et le fond du caisson à cause des sept quilles saillantes au-dessous du caisson. Les vides imparfaitement remplis entre ces pièces de bois avaient offert à l'eau des passages sous le caisson.

On chercha donc les moyens de consolider le terrain et de bien unir la construction au sol. Pour remplir la première condition, on a suivi le procédé employé à Venise. On a lardé tout l'emplacement de pieux. Le damage n'a pas une grande puissance. La dame, en s'enfonçant déplace toujours les parties voisines et, en somme, on ne peut guère compter que l'action de la dame s'étendra à plus de 0,60 de profondeur. En enfonçant des pieux de 1.00 d'axe en axe, en supposant ces pieux de 0,25 à 0,30 d'équarrissage, il suffit que le rayon d'action d'un pieu soit de 0,40 pour que tout le sol soit comprimé sur une épaisseur égale à la longueur des pieux. Quand on enfonce des pieux dans le seul but de consolider le sol, il faut les enfoncer par le petit bout, tandis que si on bat des pieux en vue d'arriver à un terrain solide, il est convenable de les enfoncer par le gros bout.

Après avoir enfoncé les pieux, il survint de la vase dans la fouille. Il n'y avait pas à songer à s'en débarrasser par des dragages, les têtes de pieux plus ou moins à fleur de sol eussent arrêté les cuillers ou les hottes. On se contenta de jeter des pierres et de les tasser fortement pour les faire entrer dans la vase et de former ainsi avec elle une espèce de maçonnerie.

Pour établir la construction, on forma un véritable batardeau en béton, un radier de 3,00 d'épaisseur et des bajoyers aussi en béton. On devait épuiser et achever un revêtement en maçonnerie.

Pour enceindre la construction, on battit sur trois côtés des pieux jointifs de 13,00 à 14,00 de longueur, ayant 3,00 environ de fiche. Une fois le radier coulé, il fallait trouver moyen de former une double enceinte pour couler les bajoyers. Une de ces enceintes fut la ligne de pieux jointifs. Pour l'enceinte intérieure, on fit arriver dans la fouille un caisson très léger qu'on échoua au milieu. Ce caisson qui ne coûtât que 50 000$^{f}$ fut construit à terre en plusieurs parties qu'on mit à l'eau d'après les procédés employés pour le lancement des bateaux. Pour utiliser des bois courbes que l'on avait, on lui donna à peu près la figure que devait avoir le bassin de radoub, c'est-à-dire une portion plate de 8.00 de long, terminée par deux portions cylindriques de 8.00 de rayon. Ce caisson fut fait en pieux du pays qui ne coûtaient que 25 à 30$^{f}$ le mètre cube.

Une fois ce caisson entré, on ferma le quatrième côté de la fouille par des pieux jointifs devant la portion où il devait y avoir du béton ; le reste de l'ouverture était fermée par un grand panneau bien étanche et qui fermait le fond de la dernière portion du caisson intérieur.

C'était une affaire considérable que de couler 14000$^{m3}$ de béton, à une époque où les bétons n'étaient pas encore bien connus. Il fallait autant que possible le couler d'une manière continue. Néanmoins, après quelques essais, on renonça à travailler jour et nuit, la surveillance était impossible et on se contenta, en relevant les ateliers, de travailler 16 heures par jour.

Le mortier était formé de une partie de chaux grasse et deux parties de pouzzolane d'Italie. On le faisait dans un auget circulaire dans lequel tournait quatre roues mues par quatre chevaux. Une broyée durait 20' et donnait 1$^{m3}$.

Le béton se faisait à côté. On prenait une partie de mortier et deux de pierres cassées. On prenait un panier de mortier, on mettait par dessus deux paniers de pierres cassées, quatre hommes ramenaient la portion inférieure sur les parties supérieures. En quelques instants le béton était fait et déposé à côté. Le béton fait ainsi par les hommes était aussi bon que celui fait par les machines, revenait au même prix et la fabrication ne prenait pas grande place.

On portait la plus grande attention à ce que le mortier fut ferme, et à ce que les pierres employées fussent propres et humides, car il était indispensable de ne jamais ajouter d'eau pendant la fabrication du béton.

Le béton fait était placé dans de petites caisses. Un homme en mettait quatre sur une brouette et les transportait sur un radeau où se faisait le versement. Les petites caisses étaient prises une à une et le versement s'opérait doucement dans les grandes caisses qui devaient servir au coulage.

On avait d'abord pensé à employer une trémie, mais d'abord il eut fallu lui donner des dimensions colossales car la fouille avait 30.00 de large, ensuite on ne coulait que 100 à 120$^{m3}$ par jour. Or, pour qu'une trémie fonctionne avec avantage, il faut qu'elle soit toujours presque pleine. On aurait passé plus de la moitié de la journée à emplir la trémie, et on n'aurait pas pu la laisser pleine la nuit, car le lendemain on eut trouvé du béton pris. On s'est donc décidé à employer des caissons. Ces caisses étaient triangulaires, elles étaient suspendues par deux cordes qui se déroulaient de dessous un treuil. Au bout d'un certain temps, deux autres cordes lâches, attachées à l'arrête inférieure de la caisse, s'enroulaient sur le treuil. La caisse se renversait et le béton était posé tranquillement. Malheureusement ces caisse étaient trop petites. Elles ne contenaient guère que $\frac{1}{7}$ de mètre cube.

La grande couche de béton du radier, qui devait avoir 3.00, se fit en trois fois. Chaque couche de 1.00 était elle-même partagée en 6 couches de 0,17 à peu près chacune, qui marchaient par étages et parallèlement.

Toutes ces opérations relatives à la fabrication et au coulage du béton, se faisaient avec la plus grande régularité et semblait promettre un succès immédiat. On laissa le béton 6 mois. Au bout de ce temps on commença l'épuisement avec deux machines à vapeur de 20 chevaux. On ne put faire baisser le niveau au-dessous de 2.50 du niveau de la mer ; il y avait eu des

tassements des fontes [d'armature]. Comme à cette époque on faisait les fouilles pour la troisième forme de radoub projetée, on rejeta une partie des déblais dans le bassin en construction et on fit un batardeau à terre coulantes(*), qui isolait à peu près la cinquième partie du bassin. Mais pour que ce batardeau fut une fermeture bien étanche, il fût nécessaire là où on le forme, d'enlever le berceau intérieur. Pour cela on le scia par partie au moyen d'un scie circulaire que l'on fit marcher sur tout le périmètre du berceau. On parvint à épuiser cette partie. On en enleva la portion de caisson qui y restait. On vit alors le fond transpercé par une foule de sources, presque toutes d'eau douce, qui venaient de la montagne et qui s'étaient fait jour le long de chaque pieu de compression. En outre, à 2.00 au-dessus du radier, une nappe d'eau complètement continue formait une cascade tout autour de la fondation.

Les sources de fond provenaient de ce que le béton n'avait pas été coulé sur une assez grande épaisseur à la fois. À peine la couche de 0,17 à peu près que l'on versait avait-elle recouvert une source, que cette source se faisait jour à travers et reparaissait à la surface extérieure avec la même intensité. Quand arrivait la deuxième couche de 0,17, il se passait exactement la même chose, la source se faisait jour et arrivait ainsi à la surface extérieure de tout le radier.

Quant à la grande nappe qui enceignait la fondation, elle provenait de la forme courbe donnée au caisson qui avait formé la paroi intérieure de l'enceinte. Le béton n'avait pas été déposé par les caisse à la place qu'il devait occuper ; on l'avait descendu verticalement et on l'avait laissé prendre son talus sous l'espèce de coque inclinée du caisson. Or il était arrivé que la pierre cassée avait pris un talus de 45° à peu près, tandis que le mortier avait pris une inclinaison de 3,4 et même 5 de base pour 1 de hauteur, de sorte qu'à une certaine hauteur du bajoyer était une portion qui ne contenait presque que des pierrailles à travers lesquelles l'eau passait avec la plus grande facilité. Au-dessus était un bloc parfaitement sain.

On commença par creuser tout autour du radier une rigole assez profonde où se rendaient les eaux arrivant sur le radier. Puis, sur ce radier, on plaqua avec du ciment de Pouilly des briques d'excellentes qualité, de manière à former des files longitudinales laissant entre elles des espèces de caniveaux dans lesquels coulait l'eau qui se rendait à la rigole. Sur ces briques, on mit une autre assise de briques complète, de manière à recouvrir les petits caniveaux. On mit ainsi deux ou trois épaisseur de briques. On répartit à peu près uniformément les briques et les moellons qui devaient servir ultérieurement et on laissa

---

(*) La terre coulante se laisse préparer pour les emblavures tout à fait comme une terre ordinaire, et si le temps reste convenable, on n'observe rien d'anormal dans la façon dont elle se comporte. Mais dès qu'il arrive une pluie un peu forte, toute la surface ameublie se délaie presque instantanément et forme avec l'eau une masse liquide, coulant littéralement à la superficie du terrain. L'eau s'étant ensuite infiltrée dans le sol, il reste à la surface une croûte très dure, imperméable à l'air et aux racines des plantes, et par conséquent extrêmement nuisible à la végétation. Les terres coulantes se rencontrent par taches plus ou moins étendues dans les champs ; elles occupent surtout les déclivités du terrain. *(Bulletin de la Société belge de géologie, de paléontologie et d'hydrologie - 1887*).

Ceci n'est pas dans le manuscrit d'origine rédigé en 42-43 mais confirme la pertinence du procédé.

entrer les eaux dans la fouille, dans le but d'opérer une pression sur les constructions nouvelles, pression qui leur fit prendre presque tous les tassements qu'elles avaient à éprouver. Au bout de quinze jours, on épuisa. En quelques endroits, on trouva quelques fentes longitudinales. On enleva toutes les briques atteintes par ces fissures, on en remit d'autres, toujours avec du ciment de Pouilly, on plaça deux ou trois autres assises de briques, on remit l'eau, et ainsi de suite. On arrivât enfin à un radier en briques de 0,60 à 0,70 d'épaisseur et qui résistait parfaitement à la pression de l'eau.

Cela fait, on monta les bajoyers. On commençait par enlever les parties du béton qui étaient mauvaises, et la nouvelle maçonnerie à l'aide du ciment de Pouilly adhérait parfaitement à l'ancienne. Pour que l'eau qui jaillissait des bajoyers ne vint pas délaver la maçonnerie toute fraîche que l'on élevait, on la dirigeait au moyen d'auges suspendues à des cordes dans les rigoles où se faisaient les épuisements.

La maçonnerie des bajoyers n'était pas montée pleine. On laissait tout autour des puits carrés de 0,50 à peu près, placés au-dessus de la rigole tracée autour du radier. Quand tous les bajoyers furent montés, on laissa l'eau monter dans ces puits, puis le même jour, dans tous à la fois, on coula d'abord à peu près 2.00 de hauteur de mortier. Cela fait, on jeta par dessus quelques gros blocs arrondis formant à peu près piston, et qui entraient dans le mortier. On exerçait sur eux une pression considérable de manière à injecter le mortier dans la rigole d'enceinte et dans les caniveaux ménagés sous les briques. Une portion même de l'ancien béton fut injectée. On acheva de remplir les puits avec du béton et d'autres gros blocs qu'on refoulait autant que possible. Quand les puits furent à peu près pleins, on mit par-dessus une grosse pierre faisant bouchon, sur laquelle, pendant un certain temps, on laissa des poids considérables de manière à forcer le mortier de pénétrer partout et d'y rester. Cela réussit parfaitement et presque tout l'eau disparut.

On enleva une portion des vases que l'on avait apportées pour faire batardeau et on construisit une seconde portion du bassin, puis une troisième et ainsi de suite. Seulement il eut été dangereux de réunir immédiatement une nouvelle zone à une qui avait déjà éprouvée tous les tassements qu'elle devait éprouver : il en serait résulté des ruptures infaillibles. Alors on élevait une zone sans la réunir à l'ancienne autrement que par de petites voûtes en briques et en ciment de Pouilly. La moindre différence de tassement dans les deux portions du bajoyer était immédiatement acculée par de petits mouvements dans cette voûte. On a attendu quelquefois six mois, et cependant il y eut quelques petites fuites précisément à la jonction de ces deux parties.

On fit ainsi tout le bassin jusqu'aux rainures. Il n'y avait plus que quatre mètres de batardeau en vase. Pour achever le bajoyer à l'entrée du bassin, on plaça de chaque côté deux panneaux en bois mailletés, entre ces panneaux et l'ancien béton, on en coula de nouveau.

Extérieurement, on disposa deux espèces de cônes en maçonnerie rustique formés de couches de béton entre lesquels on a intercalé de gros blocs.

Il n'y a plus, dans le bassin de radoub, que de petites infiltrations qu'on épuise avec une petite pompe de 1 cheval, marchant quand marchent les ateliers.

On a été huit ans à le construire. Il a coûté 1,300,000 plus 500,000 journées de condamnés qui évaluées au plus à 1$^{f}$ portent la dépense totale à 1,800,000$^{f}$.

M. Groignard avait donné à la surface intérieure de son bassin de radoub des formes courbes semblables à celles d'un vaisseau. Cette disposition forçait d'établir les chantiers ou tins toujours dans l'axe du bassin, de sorte que toutes les fois qu'on voulait les établir pour recevoir un bâtiment, il fallait vider le bassin, les placer, le remplir une seconde fois et épuiser pour la réparation définitive. Dans le bassin N° 2, on a fait plan le fond de la forme. On dispose alors les tins un peu à côté de l'axe, à droite par exemple, de sorte que lorsque la réparation du bâtiment est terminée et qu'il doit être remplacé par un autre, on place à gauche les chantiers sur lesquels on doit l'échouer. On met l'eau dans le bassin, le navire réparé sort et l'autre entre immédiatement par la même eau ; on gagne ainsi un épuisement. Toujours la quille des bâtiments est arquée. Si donc on plaçait les tins de manière que leurs surfaces fut planes, le navire s'y déformerait infailliblement. Il faut donc, avant de le faire entrer dans la forme, lever très exactement le plan de la quille, et reproduire en saillie la concavité qu'elle présente.

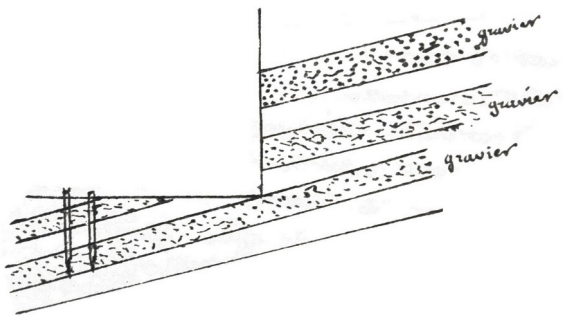
Le bassin N° 2 peut recevoir les grands bâtiments. Il a même reçu un bâtiment à vapeur de 450 chevaux, mais au lieu de placer le bateau-porte dans la rainure qui le reçoit ordinairement, on a été forcé de le mettre devant la feuillure qui termine le bassin. Comme on construira des bâtiments de 600 chevaux, ils ne pourraient pas entrer dans le bassin N° 2 et comme on va en construire un troisième, on lui donnera 15.00 de plus qu'au bassin N° 2. Quand aux autres dimensions, elles resteront les même.

*Construction du bassin N° 3.* Faudra-t-il revenir aux procédés employés par M. Groignard ou continuer les méthodes suivies pour le bassin N° 2 ? Malgré les accidents survenus pendant le travail, celui-ci a en définitive coûté plus de moitié moins. Il y a donc lieu de suivre la même marche. En étudiant avec soin les accidents, on peut en partie recouvrir leurs causes, et par suite espérer les éviter dans la nouvelle construction. Ils ont tenu à trois choses principales, la compressibilité du sol, la trop faible épaisseur des couches du radier, le procédé employé pour le coulage du béton.

Le bassin Groignard a tassé de 0,10 à 0,12 ; le bassin N° 2 a tassé de 0,6 à 0,7. Les pieux n'ont donc pas empêché le tassement. Pour des maisons, pour des constructions ordinaires, cette méthode vénitienne est très efficace, mais pour des constructions qui offrent une surface inférieure plane de 24.00 de large sur 100 de longueur, il y aura toujours des tassements. Puis il faut renoncer à les empêcher, car si on connaissait un moyen de le faire, il faudrait l'employer, mais comme on n'en connaît pas, autant ne pas piloter, et comme pour le bassin Groignard, les tassements atteindront 10, 12, même 15 centimètres peut-être, mais dans les deux premiers bassins, ces tassements n'ont pas été partout les mêmes. Sous les briques, le saffre s'est affaissé plus que sous le radier. Par suite des fentes, des fissures se sont manifestées et l'eau est entrée de toutes parts. Si donc on parvient à rendre le tassement

uniforme, si en même temps que l'on élève les bajoyers on charge le radier avec des moellons, avec du lest, toute la construction descendra parallèlement et on aura pas de fissures.

En ne pilotant pas, on aura déjà l'économie du prix des pieux, mais il y aura un autre avantage : les couches de saffre sont inclinées, la fouille coupera un certain nombre de ces couches, d'autres passent dessous sans être entamées, mais si on bat des pieux, on les atteint.




Alors toutes les eaux qui roulent sur ces couches s'élèvent immédiatement le long de ces pieux et elles ne seraient jamais venues si on ne leur avait pas ainsi offert une issue. On peut donc espérer avoir moins de sources que dans le bassin N° 2. S'il en vient quelques unes, on mettra sur le fond une toile goudronnée destinée à préserver le béton de leurs actions immédiates. Il serait difficile d'étaler tout d'abord une toile sur une aussi grande surface, les eaux arrivant en-dessous pourraient la percer au lieu de fuir sur toute la longueur. Cette toile, si on s'en sert, sera placée sur le radeau servant au coulage du béton. On la déroulera et on la goudronnera à mesure du versement. Cette toile facilitera de plus l'enlèvement de la laitance qui coule toujours au pied des talus que prend le béton.

Quelque soit le mode de coulage adopté, il faudra mettre à la fois des masses de béton aussi grandes que possible et l'arranger de telle sorte qu'une couche n'ait pas eu le temps de se solidifier avant de recevoir la couche suivante.

Le radier aura 3,50 d'épaisseur, le coulage se fera en 7 couches de 0,50 au moyen de sept caisses marchant parallèlement. Si on peut, en employant des caisses plus grandes, n'avoir que quatre couches, on le fera. Les caisses s'ouvrent par le fond, dès qu'elles touchent, et la masse est déposée tranquillement. Il faudra que le béton ait une consistance assez ferme pour qu'il ne flue pas trop, néanmoins il prendra toujours un certain talus, et il ne restera pas dans la position où il a été déposé, ce serait cependant une chose très importante à obtenir. On pourrait peut-être faire des caisses obliques ayant à peu près l'inclinaison que prend le béton, et donc le fond et un des côtés seraient fermés de parties pouvant plier les unes autour des autres, de sorte qu'au moment de mettre le béton en place, on ferait glisser ces 2 panneaux qui se recourberaient facilement et le béton ne bougerait plus. Dans des localité où, comme à Toulon, on a de grandes facilité de réparation, on ne doit pas reculer devant l'emploi de machines un peu compliquées, quand il doit résulter de grands avantages.

Toutes les fois que l'on coule du béton dans l'eau, toujours une petite portion de la chaux est enlevée et reste en suspension dans le liquide, puis elle se dépose partout et forme un vernis qui empêche la liaison des parties placées ultérieurement sur les anciennes. Il y a donc nécessité de s'en débarrasser. Pour cela, on établira un courant constant dans le bassin en y faisant arriver les eaux qui proviendront des épuisements des bassins ; 1 ou 2 épuisements qui

ont lieu extrêmement souvent. De cette manière l'eau chargée de chaux sera remplacée par de l'eau claire. On facilitera encore l'enlèvement de la laitance en promenant dans l'eau des paquets de vieux cordages défaits, sur lesquels la chaux se déposera.

Nous avons déjà parlé des accidents causés par la forme courbe donnée au noyau intérieur, aussi fera-t-on le noyau du bassin N° 3 vertical. Les caisses formant ce noyau laisseront de chaque côté, entre leurs parois verticales et les files de pieux formant l'enceinte, un intervalle de 5.00 pour le béton du bajoyer. Cette dimension sera trop forte pour la partie supérieure et on sera forcé d'en enlever une portion pour la maçonnerie, mais il serait dangereux d'en prendre une plus faible pour les portions inférieures. Les caisses auront 15.00 de largeur et 20 de longueur. On les placera à la suite l'une de l'autre ; et quand le béton aura été coulé et qu'il aura acquis la consistance convenable, la dernière caisse sera levée et placée en dehors de la construction et elle servira à appuyer de batardeau destiné à fermer la fondation. À mesure que les bajoyers monteront, on chargera les caisses uniformément avec du lest. On fera aussi, en même temps, les remblais nécessaires tout autour de la fondation, mais comme il serait bien difficile de les faire marcher en même temps que le béton, on placera sur les pieux jointifs une toile verticale goudronnée qui empêchera le béton de passer entre les pieux.

Chacune des caisse peut être épuisée séparément. Lorsque le béton sera solidifié, on commencera l'épuisement par la caisse la plus éloignée de la mer, celle qui ferme l'hémicycle. On enlèvera le fond de la caisse, on verra ce qu'est devenu le radier. S'il est sain, qu'il n'y a pas trop de sources, on épuisera la seconde caisse. On enlèvera le fond, et ainsi de suite pour toute la construction à la fois. Il y aurait un avantage immense à pouvoir monter la maçonnerie partout à la fois. Les parois des caisses ne seront enlevées qu'au fur et à mesure et elles serviront d'échafaudage.

Les assises de pierres de taille formant le revêtement intérieur de la forme seront d'inégale hauteur. Les assises les plus hautes iront en bas et iront en décroissant. Cette disposition offre plusieurs avantages. D'abord il est bien rare qu'une carrière offre des lits d'égale épaisseur, il faut donc, si on veut avoir une épaisseur uniforme, ne pas admettre certains bancs et démaigrir les autres. Il y a donc, en tout cas, une perte considérable, et par suite, la pierre est beaucoup plus chère. Ensuite, supposons qu'une pierre reçoive une *épaufrure*, dans le cas d'une épaisseur uniforme, c'est une pierre perdue, tandis qu'en la *dérasant*, elle pourra servir à une assise de hauteur moindre et il n'y aura qu'une faible perte.

De plus cette diminution successive de hauteurs d'assises produit un effet agréable à l'oeil.

Fermetures des bassins de radoub. A Brest et dans quelques ports de l'océan, les bassins de radoub sont fermés par des portes busquées. Elles ont l'avantage de pouvoir être manoeuvrées assez rapidement, mais il importe bien moins de gagner du temps dans un port où l'on est forcé d'attendre la marée pour entrer dans le bassin. Les portes busquées exécutées

sur des dimensions aussi grandes ne présentent guère de solidité et exigent un prolongement considérable, et par suite très dispendieux, de l'entrée du bassin de radoub.

M. Groignard avait fermé son bassin avec un bateau-porte ayant deux quilles entrant dans des rainures pratiquées à l'entrée du bassin. Ce bateau n'avait pas de stabilité et dès qu'il cessait de porter dans les rainures, il se renversait sur le flanc. Il fallait pour le manoeuvrer, avoir derrière lui une poutre avec des bigues pour le soutenir. C'était un attirail très incommode dont on s'est cependant servi fort longtemps. M. Testel, ingénieur de constructions navales, eut la pensée de faire un ventail unique soutenu par des flotteurs latéraux. En faisant varier la position du métacentre relativement à celle du centre de gravité, on peut arriver à la stabilité et le bateau ne se renverse plus dès qu'il flotte.

Pour manoeuvrer le bateau-porte, on l'amène au dessus des rainures, on ouvre deux ouvertures inférieures. L'eau entre, le bateau s'échoue en glissant entre les rainures. On l'assujetti en y introduisant des coins. Pour le vider, on emploie deux pompes placées sur le bateau lui-même.

M. Groignard craignait que le bateau ne portât pas bien sur les rainures et que lorsqu'on commencerait l'épuisement, il arrivât une quantité d'air égale à celle enlevée par les machines. Il pensa que si on parvenait à produire rapidement une différence de niveau, l'eau étant plus haute extérieurement qu'intérieurement, on appuierait la porte contre les rainures et qu'on achèverait ensuite facilement l'épuisement.

Pour pouvoir produire une différence de niveau, en quelque sorte instantanée, il fit creuser au fond de la forme après l'hémicycle, un bassin en communication avec la forme par une vanne. Quand on voulait vider la forme, on établissait la communication entre ce bassin et la forme. Il se remplissait en peu d'instants, le niveau baissait dans la forme, on achevait ensuite l'épuisement.

Mais tout cela ne réussit pas bien. On avait laissé, au mur de la partie circulaire de la forme, une trop faible épaisseur. Il se produisit des fentes et on renonça à se servir de ce second bassin. Il est aujourd'hui comblé.

Les bateaux-porte construits pour les bassins 1 et 2 à Toulon ont le désavantage de ne pouvoir servir que d'un côté, de sorte que s'il arrive des accidents au côté extérieur du bateau, il est très difficile de les réparer. Le bateau projeté pour le bassin N° 3 pourra résister dans les deux sens, de sorte que si un côté éprouve quelqu'avarie on le mettra du côté intérieur de la forme et on le réparera à sec.

Pour faire arriver l'eau dans le bassin de radoub, M. Groignard avait établi des canaux dans l'intérieur des bajoyers, mais ils ont été d'une construction difficile et portaient atteinte à la solidité du système. Dans le bassin N° 2, on a préféré mettre des ventelles sur le bateau-porte lui-même. Il ne serait pas prudent de laisser arriver sur la maçonnerie une masse d'eau considérable animée d'une grande vitesse. Les joints n'y résisteraient pas et seraient bientôt

dégradés. On fait arriver l'eau dans de grandes caisses en bois, et de là elle tombe tranquillement dans le bassin.

Cale de halage. Les deux premières leçon du cours ont été consacrés à la description et à la construction de ces établissements d'un grand intérêt et dont il n'y a encore que peu d'exécutés.

## Platins d'échouage et grils de carénage.

Les platins d'échouage ne peuvent être employés avantageusement pour des navires de quelqu'importance que dans les ports où, comme à Grandville et à St Malo, les différences entre les hautes-marées sont très grandes. Aux plus hautes mer, on amène le bateau à radouber sur le platin d'échouage. Les hautes mer suivantes n'atteignent plus le niveau qu'elles avaient atteint et le bâtiment reste à sec. La première haute mer qui revient le remet à flot. Ainsi cette disposition ne peut servir que pour des réparations de peu de durée.

Quelquefois, les platins d'échouage, au lieu d'être établis dans une anse que la mer n'atteint qu'aux hautes marées, sont formés d'un grillage placé sur des pieux dans un coin du port. Ils prennent alors le nom de *grils de carénage*. Dans certaines localités, on a placé latéralement des bajoyers en charpente à joue pour pouvoir y appuyer des éposts.

Dock hydrostatique.C'est le nom qui a été donné à une mauvaise machine employée en Amérique pour la réparation des navires. Entre deux quais se trouve une plateforme que l'on fait descendre à quelques mètres au-dessous de l'eau. Cette plateforme est soutenue de chaque côté par des chaînes qui s'enroulent sur 2 mâts placés le long du quai. On fait arriver le navire à réparer sur la plateforme, on fait tourner les mâts qui portent les chaînes au moyen d'une presse hydraulique mue par une machine à vapeur de 6 chevaux. Le bâtiment arrive hors de l'eau et on fait la réparation. Quelquefois, on agit sur chaque chaîne séparément au moyen de petites presses hydrauliques avec des crics à vis mus par des hommes. On voit tout ce qu'une disposition semblable offre de défectueux. Il suffit de la rupture de quelques pièces pour entraîner la chute du navire avec la plateforme et les ouvriers. Et de plus on a à soulever le bâtiment tout entier, ce qui est un poids considérable, tandis qu'avec les avant-cales, on n'a que ⅙ du poids total, et quand même toutes les chaînes casseraient, il n'en résulterait pour le bâtiment d'autre inconvénient que celui de rester en place.

## Divers établissements d'un port.

Il existe dans un port militaire une grande quantité d'établissements qui sont les accessoires indispensables de toutes les constructions dont nous venons de parler.

On peut les séparer en trois classes distinctes.

1° Établissement pour la recette (Réception) et la conservation des matériaux bruts.
2° Atelier pour l'emploi de ces matériaux auxquels il faut joindre les magasins destinés à la conservation des objets confectionnés.
3° Logement des hommes, casernes, prisons, bagnes.

Nous allons dire quelques mots de chacune de ces trois grandes catégories.

1° Recette et emmagasinement. De toutes les matières, la plus importante et celle dont on a les approvisionnements les plus considérables, est le bois. Il y en a dans un port militaire pour 6 à 10 millions et il serait possible de les perdre en très peu de temps si on en avait admis de mauvais ou si on ne savait pas les conserver.

Les défauts du bois sont de deux espèces : les défauts de contextures et les altérations.

Les défauts de contexture sont la roulure, la gélivure, la cadranure.

Les bois roulés sont ceux pour lesquels il y a séparation de couches concentriquement. Quelquefois cette séparation se produit après de très grands froids, en tout cas la pièce est singulièrement altérée. Les fibres n'étant plus liées, elle ne résiste plus comme une pièce unique. Les fibres peuvent glisser les unes par rapport aux autres.

Les gélivures sont des fentes dans le sens du rayon. Quand un bois est roulé et gélivé, la section présente l'apparence d'un cadran et les ouvriers ont nommé la réunion de ces deux défauts cadramire.

Il est très rare que les bois ne soient pas plus ou moins fendus. Toutes les fois que la fente sera large, continue, pénétrant jusqu'au centre, il faudra rejeter les bois.

Les fibres des bois tournent quelquefois en hélice dont le pas est plus ou moins allongé. On dit alors que le bois est tors. Quand on doit s'en servir pour pieux, grosses poutres, etc. il n'y a pas grand inconvénient. Mais si on doit le débiter en planches, les fibres seraient coupées de court et n'auraient aucune résistance.

Il y a également trois espèces d'altérations principales dans les bois.

1° *La pourriture à la surface*. Cette maladie appelée grisette, est due à la fermentation de la sève. C'est une pourriture contagieuse qui suit les fibres longitudinalement et qui se propage avec une grande rapidité, surtout de haut en bas, dans le sens des fibres. La grisette est bien moins dangereuse quand elle attaque la base des arbres. Quand un bois en est attaqué, les fibres deviennent successivement noires, grises, jaunâtres, enfin blanches. Un caractère certain de cette maladie, c'est une forte odeur de tabac d'Espagne. Quelquefois les fibres sont couvertes de piqûres. On dit alors que les bois ont la chair de poule.

2° Les noeuds sont souvent le siège d'une autre maladie des bois, beaucoup moins vivace et moins contagieuse que la grisette. Toutes les fois qu'on reçoit un bois, il faut l'examiner sous toutes les faces, faire donner sur chaque noeud un coup d'herminette. Souvent on voit un point noir ou oeil de perdrix, c'est l'indice de

l'existence d'une petite masse décomposée, blanchâtre, qui a une odeur de champignon très prononcée. Généralement elle ne pénètre pas à une grande profondeur et on peut l'enlever totalement.

3° *La pourriture sèche*. C'est l'altération la plus terrible des bois. Elle se produit à l'intérieur et il peut souvent n'y en avoir aucun indice à l'extérieur, il ne peut y en avoir qu'aux extrémités, souvent même il n'y en a pas : le bois paraît parfaitement sain. Quand l'altération se produit aux extrémités, on le reconnaît à la couleur cannelle que prend la section, de plus le bois devient extrêmement friable. C'est surtout dans les bois résineux que cette altération est fréquente. On dit qu'ils s'échauffent beaucoup plus que ceux qui ne sont pas résineux.

Piqûres. Il existe, surtout dans les ports du midi, un petit insecte ailé qui dépose sur les bois un oeuf d'où naît un petit ver blanc (*Limexylon navale*) qui mange les bois. Ces vers étant très petits, ils ne produiraient pas grand mal si par suite de leur amas, la pourriture ne s'ensuivait, pourriture qui est indiquée par une odeur très acide. Heureusement, on peut éviter la présence de ces vers. Le papillon ne dépose ses oeufs que parce qu'il a l'instinct qu'ils trouveront une nourriture dans le mucilage du bois, et si on enlève le mucilage seulement à une petite profondeur, les papillons n'y viennent plus. Pour enlever le mucilage, il suffit d'immerger le bois pendant 6 mois. Il serait mauvais de les immerger plus longtemps car il arriverait ce qui a lieu pour les bois soumis à l'action de la vapeur d'eau, tout le mucilage serait enlevé et les bois deviendraient cassants. Au bout de six mois, les bois sont retirés des fosses d'immersion et on les fait sécher doucement à l'ombre. Pour les immerger, on en fait des radeaux et on les enfonce en les chargeant avec des moellons ou en les amarrant avec des chaînes fixées à des pieux battus au pourtour.

Les hangars aux bois doivent être couverts, aérés, à l'abri des vents violents et du soleil. Toutes les pièces de même équarrissage doivent être mises ensemble, dans la même travée. Il serait utile, mais cette disposition n'a pas encore été exécutée en France, d'établir sur la nef principale un chariot sur lequel un autre chariot plus petit pourrait entrer dans les nefs latérales, de sorte que l'on pourrait ainsi enlever un bois en un point quelconque et le déposer sur la voiture ou les triqueballes qui entreraient dans le hangar.

Dans plusieurs ports de l'océan, on conserve les bois dans l'eau vaseuse. La vase empêche l'action de l'eau dont nous avons parlé précédemment. Le mucilage n'est enlevé qu'à une faible profondeur. Si on prenait de l'eau de mer, les bois seraient mangés par les vers tarets. En prenant de l'eau douce, on aurait d'autres vers. On fait un mélange d'eau douce et d'eau salée et aucune espèce de ver n'y vit.

Les bois résineux qui servent pour la mâture se conservent très bien dans de l'eau sans vase.

Les magasins pour les autres substances que le bois ne présentent rien de particulier. M. Rubell a donné le dessin de la plupart des magasins construits dans les différents ports.

2° Ateliers. Presque tous les ateliers présentent des des nécessités spéciales auxquelles il importe d'avoir des égards dans leurs constructions.

Les ateliers des charpentiers et des menuisiers sont placés dans des espaces libres ménagés le long des cales de construction.

Les ateliers les plus importants sont les ateliers à fer où l'on construit et répare les machines à vapeur. Les ateliers à fer présentent 5 grandes divisions.

1° *Grandes, moyennes, petites forges en clouterie*. Les petites forges sont placées dans des ateliers de 15 à 20$^{m}$ de largeur, éclairés des 2 côtés sur leur longueur. Entre chaque ouverture on a deux feux accolés. Ainsi, pour chaque entraxe on a 4 feux. On ne se sert plus de soufflets, on emploie un ventilateur centrifuge. Ce ventilateur mu par une machine de 2 à 3 chevaux peut alimenter 75 petites forges. La conduite longitudinale qui amène l'air dans tout l'atelier doit être très large. On la fait simplement en bois recouvert d'argile. Il ne faut pas lui donner moins de 0,35 à 0,40 de côté. Devant chaque feu on a un tuyau en cuivre rouge, muni d'un robinet au moyen duquel on amène l'air sur le feu.

   Dans les forges destinées aux grosses pièces, il convient de placer les marteaux au milieu de l'atelier avec une forge et une grue de chaque côté pour amener sous le marteau les pièces que l'on veut réunir.

2° *Fonderies*. Les fourneaux les plus employés actuellement sont les fourneaux à manche ou les fourneaux à la Wilkinson, on règle mieux la quantité de matière et de combustible. Au-dessus de ces fourneaux, il doit y avoir de larges cheminées. On doit avoir à proximité des fourneaux des approvisionnements de coke considérables. Les fours à coke doivent être utilisés pour sécher les moules. Il est utile de faire arriver sur ces moules la flamme de la houille, il se dépose une couche de suie qui facilite beaucoup la coulée.

   Les grosses pièces doivent être coulées verticalement. On fait alors des fosses à proximité des fourneaux avec des grues pour y descendre les moules et pour en retirer les pièces coulées. Du reste, dans un atelier de fonderie, toutes les grues doivent se correspondre.

3° *Ébarbage*. C'est la première opération après la coulée.

4° *Ajustage*. Les ateliers d'ajustage contiennent les machines à aléser, à tourner, à percer, à raboter, etc.

5° *Montage*. Les ateliers de montage doivent avoir des chariots munis de bigues roulant soit sur le sol, soit sur les murailles. Les petites pièces sont enlevées par des palans attachés à la charpente.

A tous ces ateliers, il faut joindre une *chaudronnerie* pour la fabrication des chaudières. Les chaudronneries sont de simples hangars qui doivent être aussi isolés que possible à cause du bruit considérable résultant de la pose des rivets.

*Corderie*. La matière première est toujours le chanvre. Un cordage est toujours composé de trois éléments. Le premier élément, comme à tous les cordages est le *fil de* carret. C'est un fil de 2 à $3^{mm}$ de diamètre, filé en ligne droite sans s'enrouler sur une roue. Comme les cordages ont 200 de longueur, on donne $300^{m}$ au fil de carret. Tous les éléments composant le fil de carret doivent être tournés en hélice, bien régulièrement, sans qu'il reste de petites masses de chanvre isolées.

Si l'on veut faire un cordage goudronné, c'est le fil de carret qui doit être goudronné car il serait mauvais de goudronner le cordage une fois fini. Le goudron diminue la force des cordages d'au moins 20%. Cette action est due à l'acide pyrolineux qu'il contient et qui attaque le chanvre. Mais le goudron est *indispensable* pour les câbles qui doivent être mouillés. Il importe de n'en mettre que le moins possible sur le fil. Pour cela on chauffe doucement du goudron au bain marie, puis on y fait passer le fil sur une petite poulie noyée dans le liquide.

Le $2^{e}$ élément de tous les cordages est le toron. Le toron est composé d'un nombre de fils de carret en proportion avec la grosseur que l'on veut obtenir. Autrefois on prenait les fils de carret d'égale longueur, on les serrait aux deux extrémités et on tournait. Il arrivait alors que tous les fils étaient inégalement tendus. Les fils de la surface étaient les plus tendus. La tension allait en diminuant, devenait nulle, puis les brins étaient refoulés sur eux-même jusqu'au fil du centre. Les câbles ainsi fabriqués étaient très mauvais. Lorsqu'on faisait effort sur eux, les fils de la surface rompaient, puis les suivants qui devenaient à leur tour les plus tendus et ainsi de suite jusqu'au dernier. On est parvenu maintenant à faire des torons composés de brins également tendus et d'inégale longueur. On a une plaque métallique percée en son centre. On y passe un fil de carret. Autour du premier trou sont disposés concentriquement 7 trous d'égal diamètre. Autour de ce premier cercle un autre percé de 14 trous, un troisième de 21 et ainsi de suite de 7 en 7. On peut ainsi faire des torons de 8, de 15, de 22 brins. Chacun des brins, avant d'être mis dans la plaque, est placé sur une roue d'où il peut se dérouler librement. Tous les fils sont réunis en un faisceau et serrés fortement dans un tube d'un numéro convenable. Ce tube est attaché à un chariot ayant à la fois un mouvement de translation et de rotation. Le brin se déroule librement et chacun de la quantité convenable pour subir à peu près une tension uniforme. Pour produire à la fois le mouvement de translation et le mouvement de rotation, la corde qui fait marcher le chariot passe sur une poulie à axe vertical fixé sur ce chariot. Sur l'axe de cette poulie est une roue d'angle qui fait tourner le crochet où sont amarrés les brins. On a ainsi toute possibilité de faire varier le pas des hélices formées par les brins. On prend ordinairement 5 fois le diamètre.

Une fois le toron fait, on ne peut le laisser ainsi, ils se déroulerait infailliblement et on n'aurait aucune solidité. On prend alors trois torons, on leur donne un léger surtors et on le

tourne en sens contraire du tors qui leur a été préalablement donné. Les trois torons tendant à se détordre exercent l'un contre l'autre une pression qui les en empêche et on a un système invariable.

L'ensemble des trois torons forme une aussière. On a formé des aussières de 4, de 5 torons, mais quatre, cinq cercles en contact peuvent varier et changer de position les uns par rapport aux autres, sans cesser d'être tangents, et une aussière de quatre, cinq torons ne présente pas de solidité, à moins que l'on ne mette au milieu un autre câble formant mèche, mais ce câble est perdu et devient un foyer de pourriture.

Quand on veut avoir des cordages très forts, on forme un câble ou grelin, formé avec trois aussières ; comme l'aussière avec trois torons, on tourne les trois aussières en sens contraire de la toiture qui leur a été donnée dans leur fabrication particulière. Le pas des aussières est trois fois le diamètre du toron.

Il convient d'avoir pour les ateliers où se fait le peignage du chanvre de puissants moyens de ventilation, car il vaut lieux employer des hommes que des machines pour cette opération. Les homme font un peu moins d'ouvrage, mais il est mieux fait et il y a moins de déchets.

Les corderies présentent des ateliers de filature et de comettage. Le comettage est la fabrication proprement dite des câbles. Il faut pour cela avoir des ateliers ayant 300 de longueur. On est parvenu à filer le chanvre en l'enroulant sur des rouets à mesure de la fabrication, mais pour le comettage proprement dit, il est bien difficile de s'assurer de l'égale tension des torons avant leur emploi, et jusqu'ici, en France, on préfère le comettage comme nous l'avons décrit.

## Logement des hommes.

1° Casernes. On a maintenant reconnu qu'il vaut mieux loger les hommes par compagnie qu'autrement. Il faut donc avoir essentiellement une grande chambre divisée en 4 ou 8 travées séparées par des murs, ou simplement par des piliers réunis par une cloison à hauteur d'appui, dans laquelle on peut mettre 108 hommes. Il faut de plus une chambre pour les quatre sergents, une chambre pour le sergent major. Un grand couloir doit réunir toutes les chambres. Il vaut mieux qu'il soit placé au milieu de l'édifice que sur une des façades.

Il est très important d'avoir, pour chaque division correspondant à une compagnie, un vestibule aussi grand que possible. Ce vestibule communique avec le haut de l'édifice, toutes les travées communiquent avec ce vestibule par des ouvertures placées aussi haut que possible. Les gaz respirés s'élèvent toujours et la ventilation se fait sans gêner les hommes. Les chambres doivent avoir 4.00 de hauteur ; il faut que chaque homme ait 14 à $15^{m3}$ d'air. Dans les hôpitaux, il faut compter $30^{m3}$. Il faut autant que possible que les fenêtres ne soient pas placées contre un lit, mais entre deux rangées, de cette façon les hommes les plus près de la fenêtre ne sont pas gênés par les courants d'air. Si on peut, il vaut mieux que les fenêtres

commencent au sol même de la chambre. Il se produit des courants ascendants qui activent bien la ventilation.

il ne faut pas donner aux bâtiments de servitude trop d'importance. Il faut que leur surface soit comprise entre ⅓ et ¼ de la surface habitée.

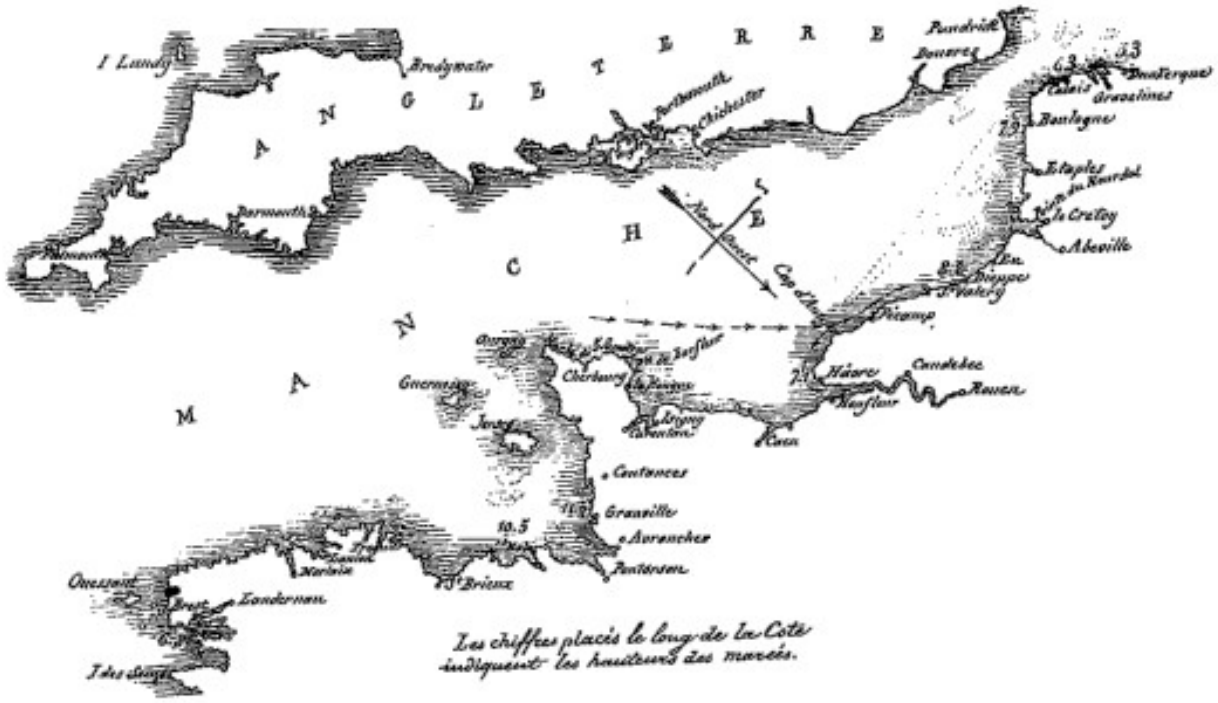
Enfin, il ne faudra pas s'écarter des résultats suivants : une caserne, en y comprenant tous les bâtiments de servitude, ne devra jamais coûter plus de 500$^{f}$ par homme, et même dans beaucoup de localités, on pourra borner la dépense à 400$^{f}$ par homme.

Bagnes. L'organisation actuelle des bagnes est détestable. Les condamnés en contact avec les hommes libres ne font rien et ne servent qu'à rendre les autres mauvais. Ensuite, il faudrait les diviser en trois classes, divisions non-pas fondées sur la durée de la peine, durée qui ne signifie rien pour classer leur moralité. Si même il y avait une distinction à faire, elle serait en faveur des condamnés à vie ou à long-terme, mais il faut séparer les bons, les mauvais, les douteux, faire en sorte que jamais ils ne sortent du bagne, réunir dans le même établissement les ateliers et les dortoirs, que jamais il n'y ait de relation avec les hommes libres.

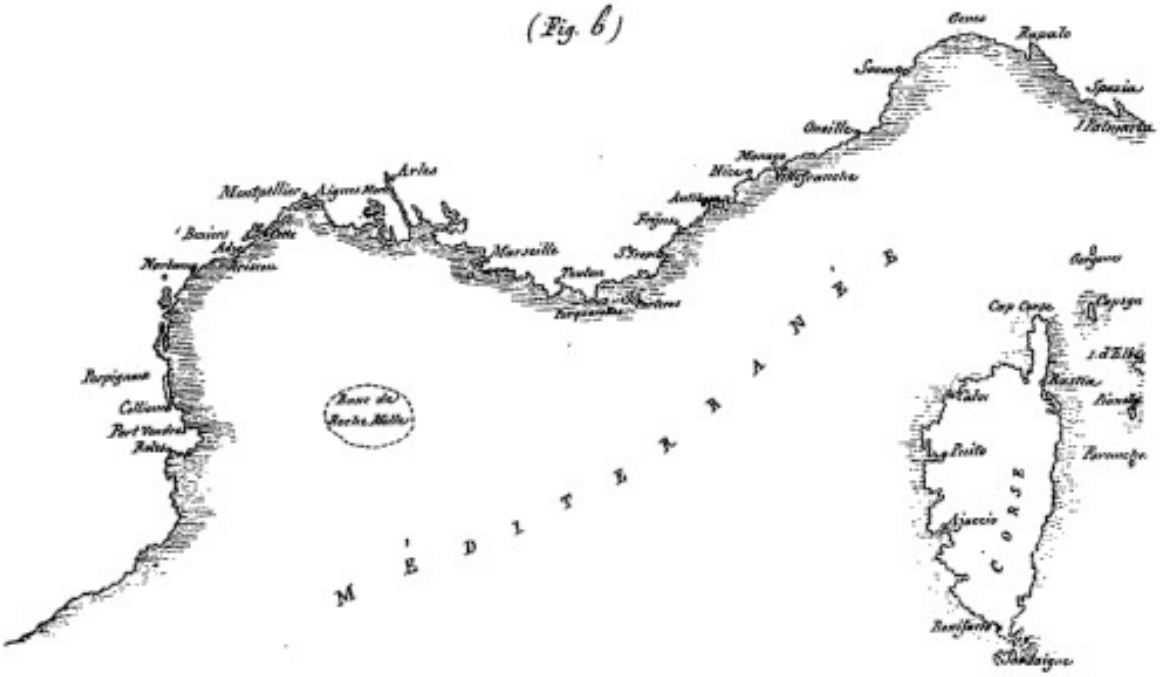
Il faudrait donc diviser un bagne en trois grandes divisions et chacune d'elles en deux, établir au milieu le bâtiment de surveillance et d'administration, entourer le tout d'une grande muraille. Placer le long du dortoir des couloirs où se promèneraient constamment des surveillants, enfin éviter de réunir dans une même chambrée un trop grand nombre de condamnés. Les révoltes seront ainsi moins fréquentes et pourront être facilement repoussées.

(Fig. a.)

Pl. A.

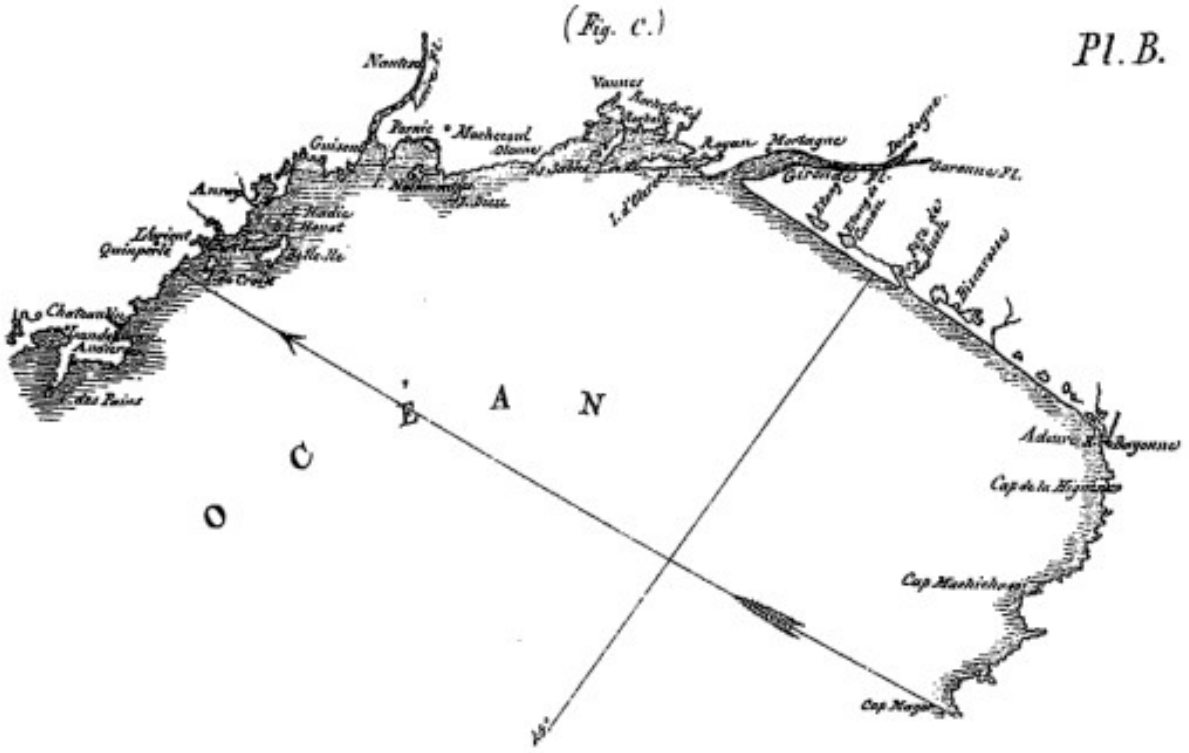



(Fig. b)

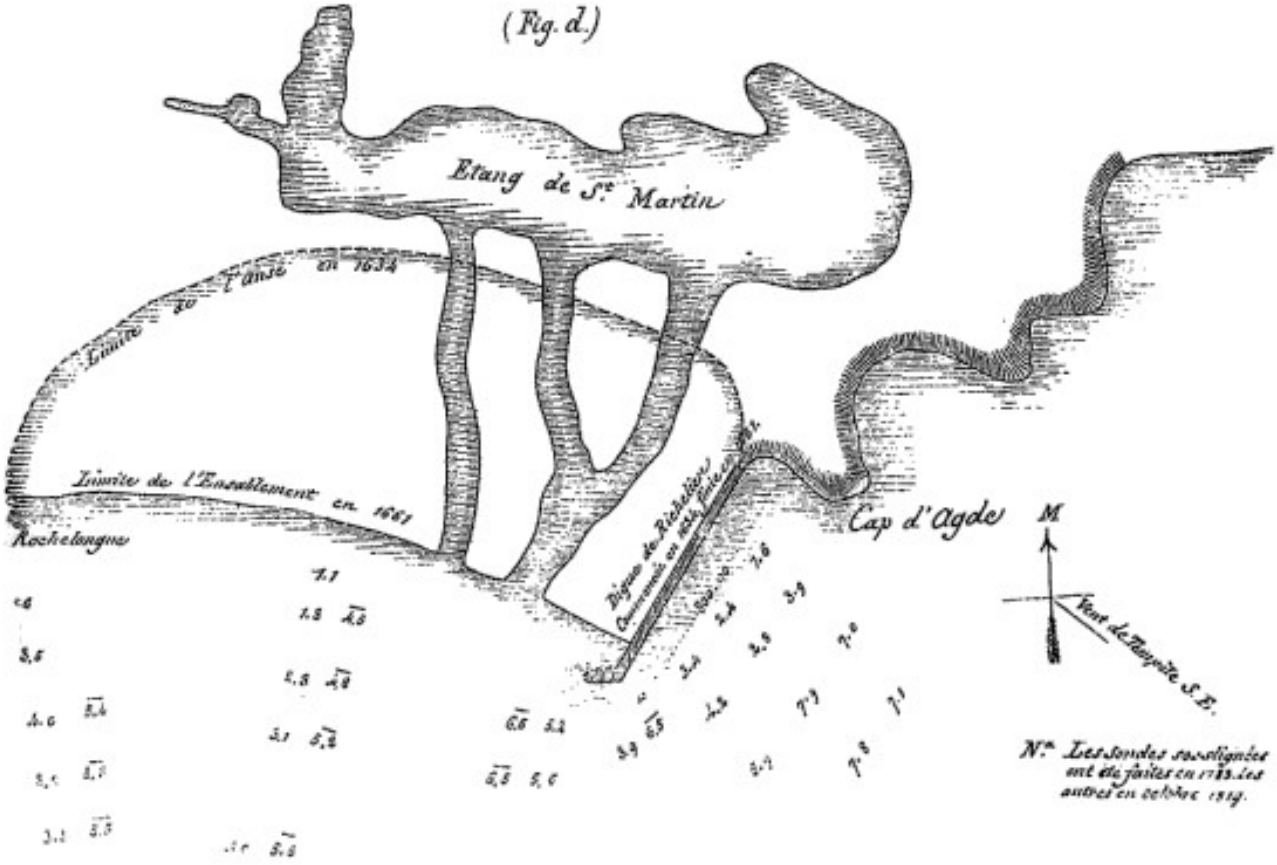


(Fig. c.)

Pl. B.

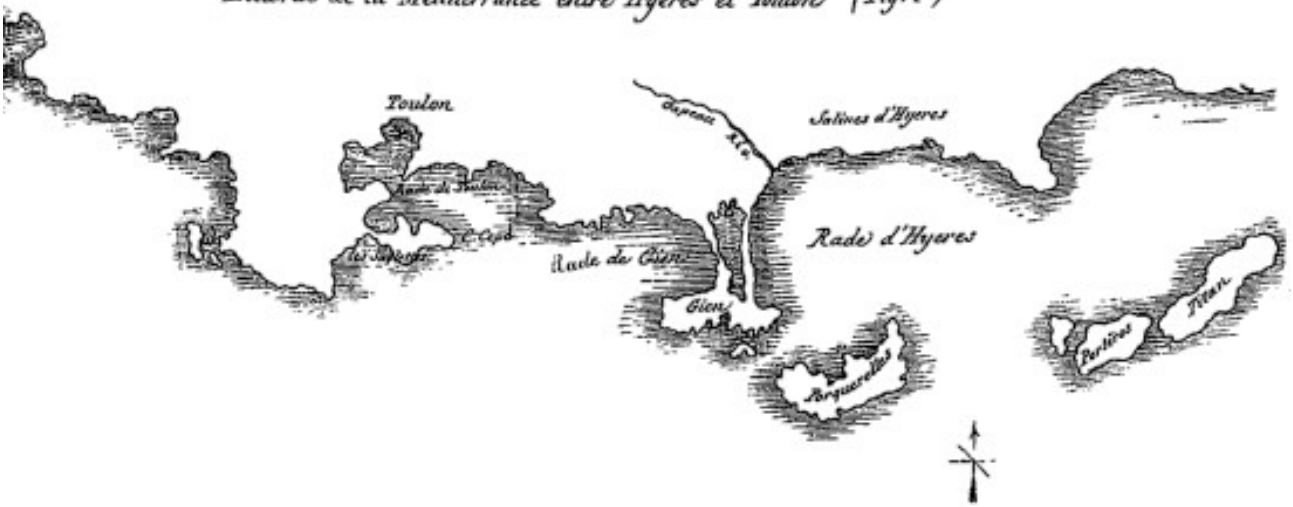



(Fig. d.)

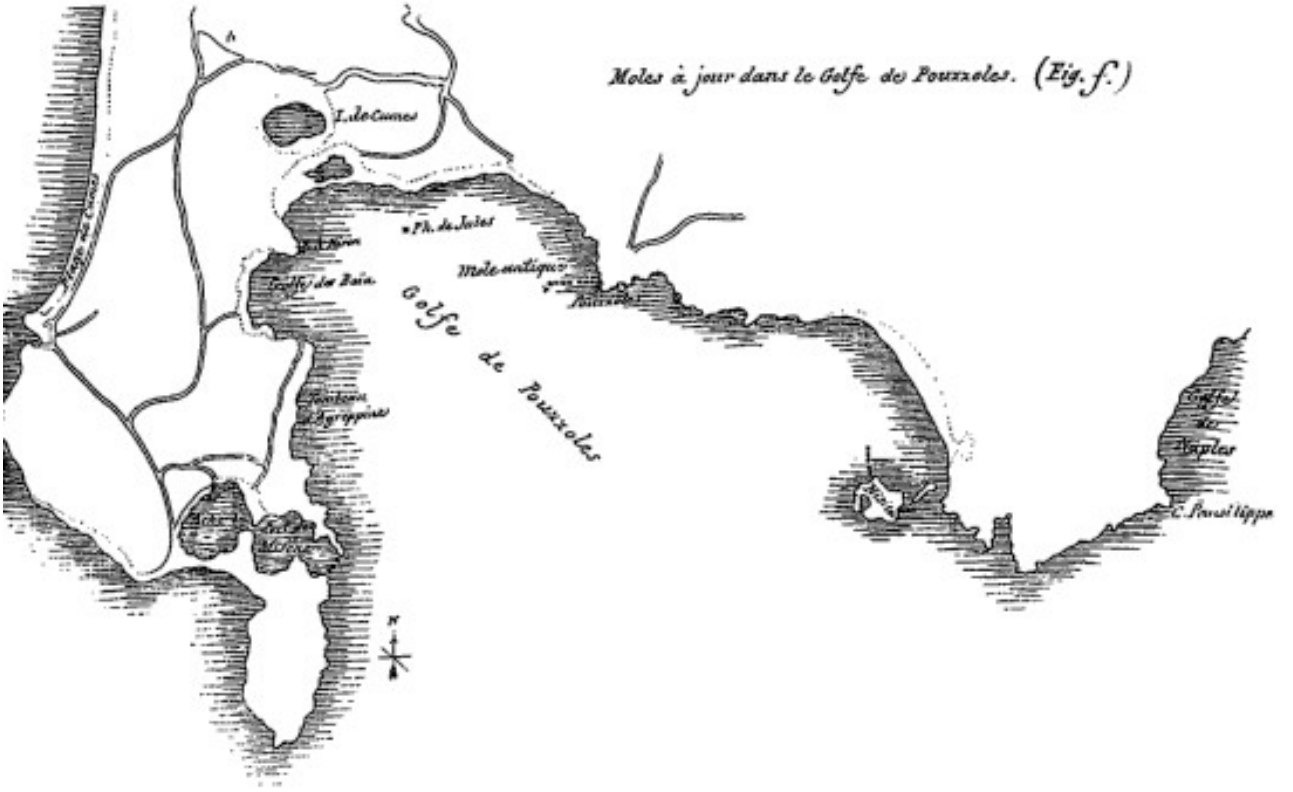


Pl. C.

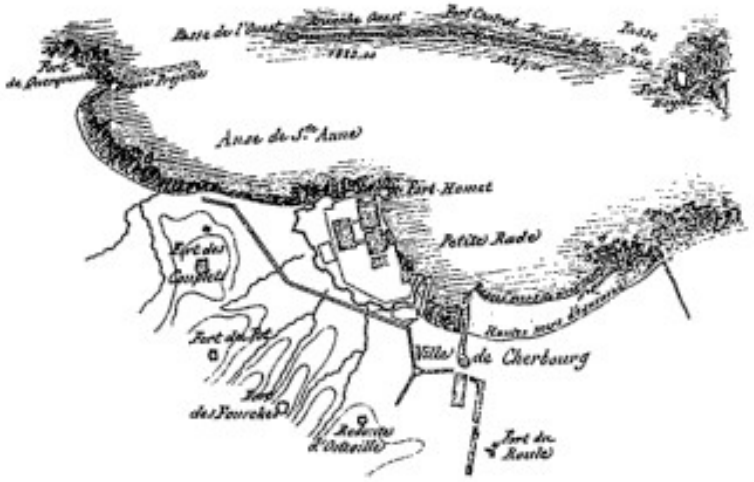
Littoral de la Méditerranée entre Hyères et Toulon (Fig. e)

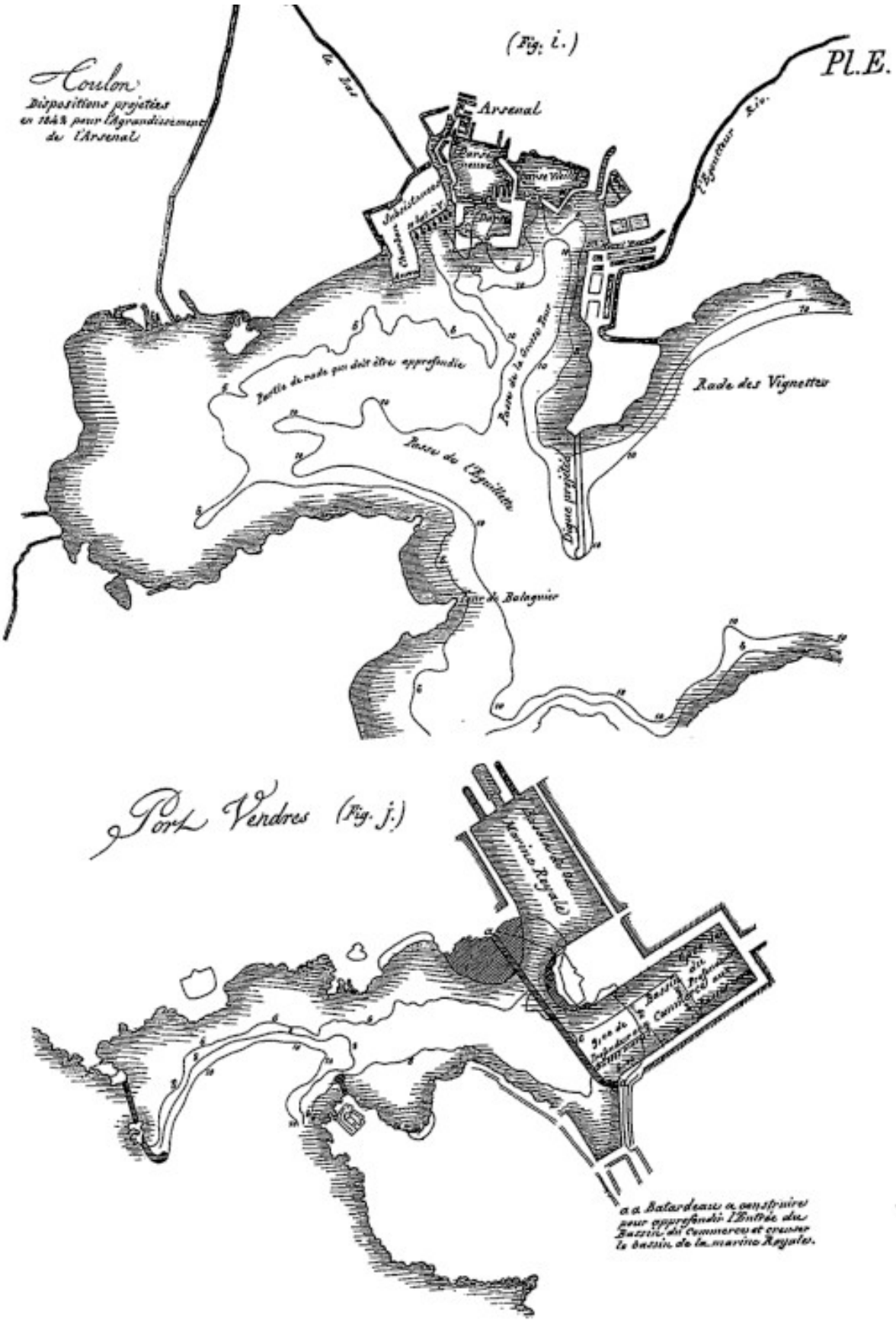


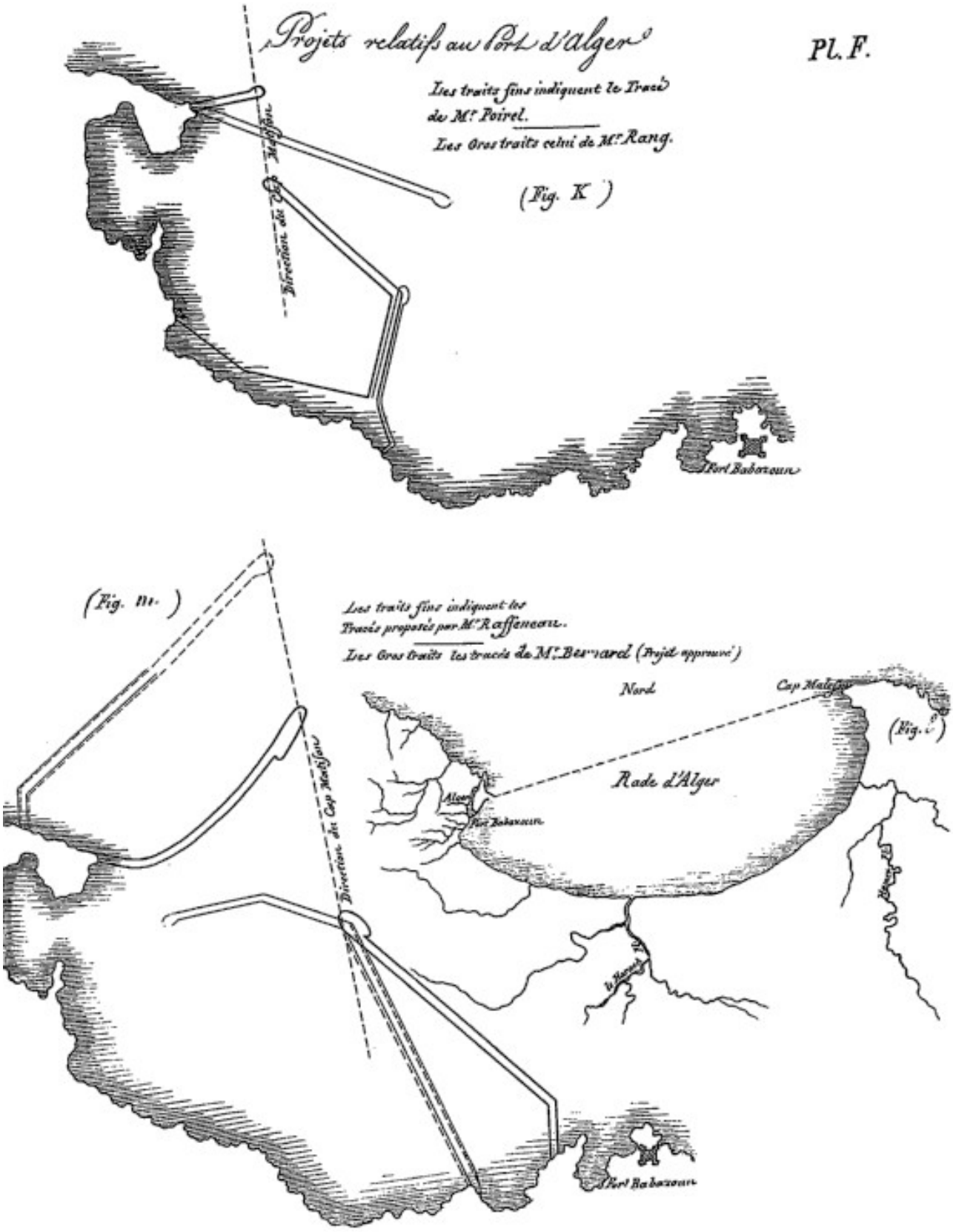

Moles à jour dans le Golfe de Pouzzoles. (Fig. f.)

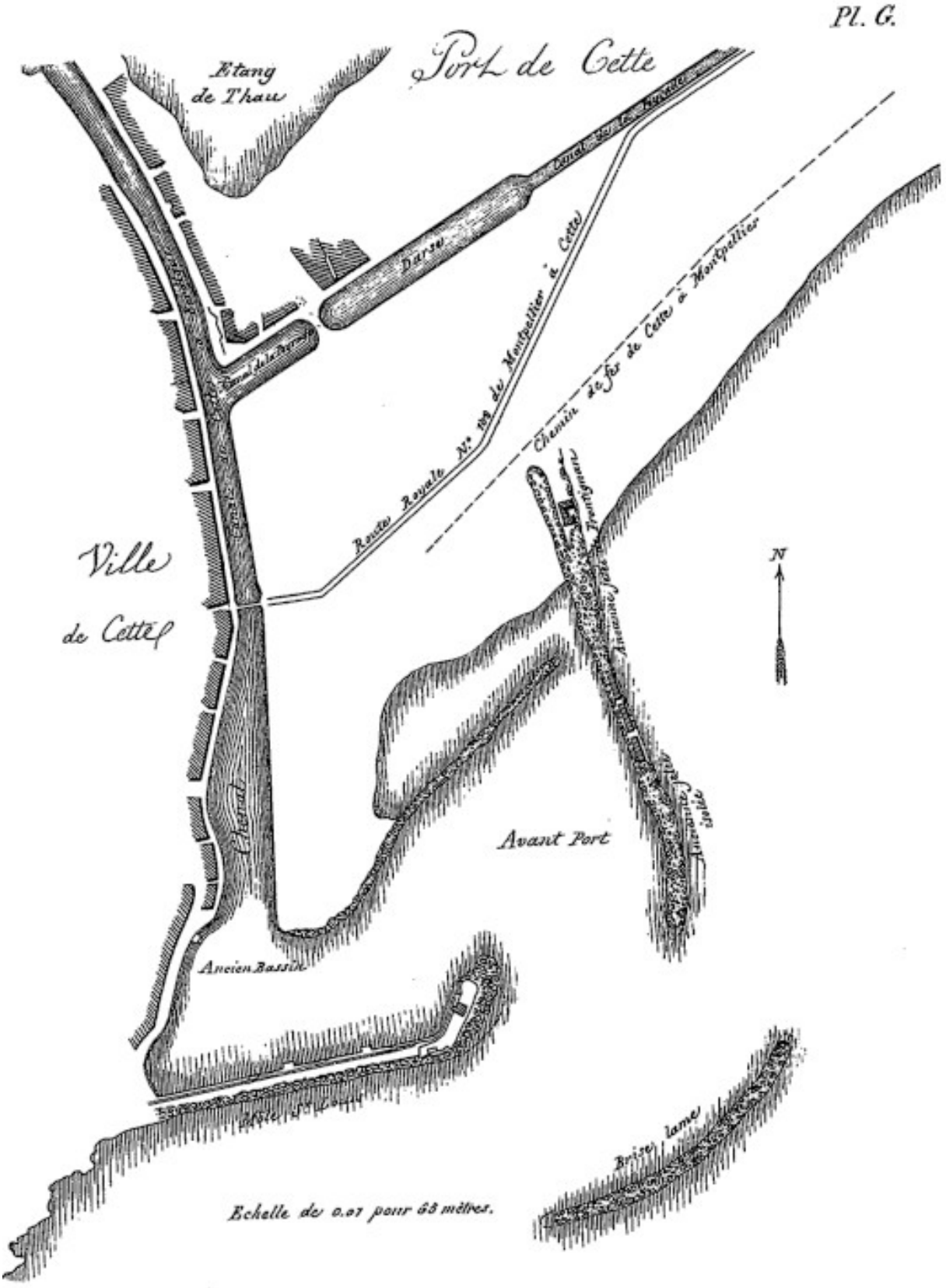


Port de Cherbourg (Fig. h.)



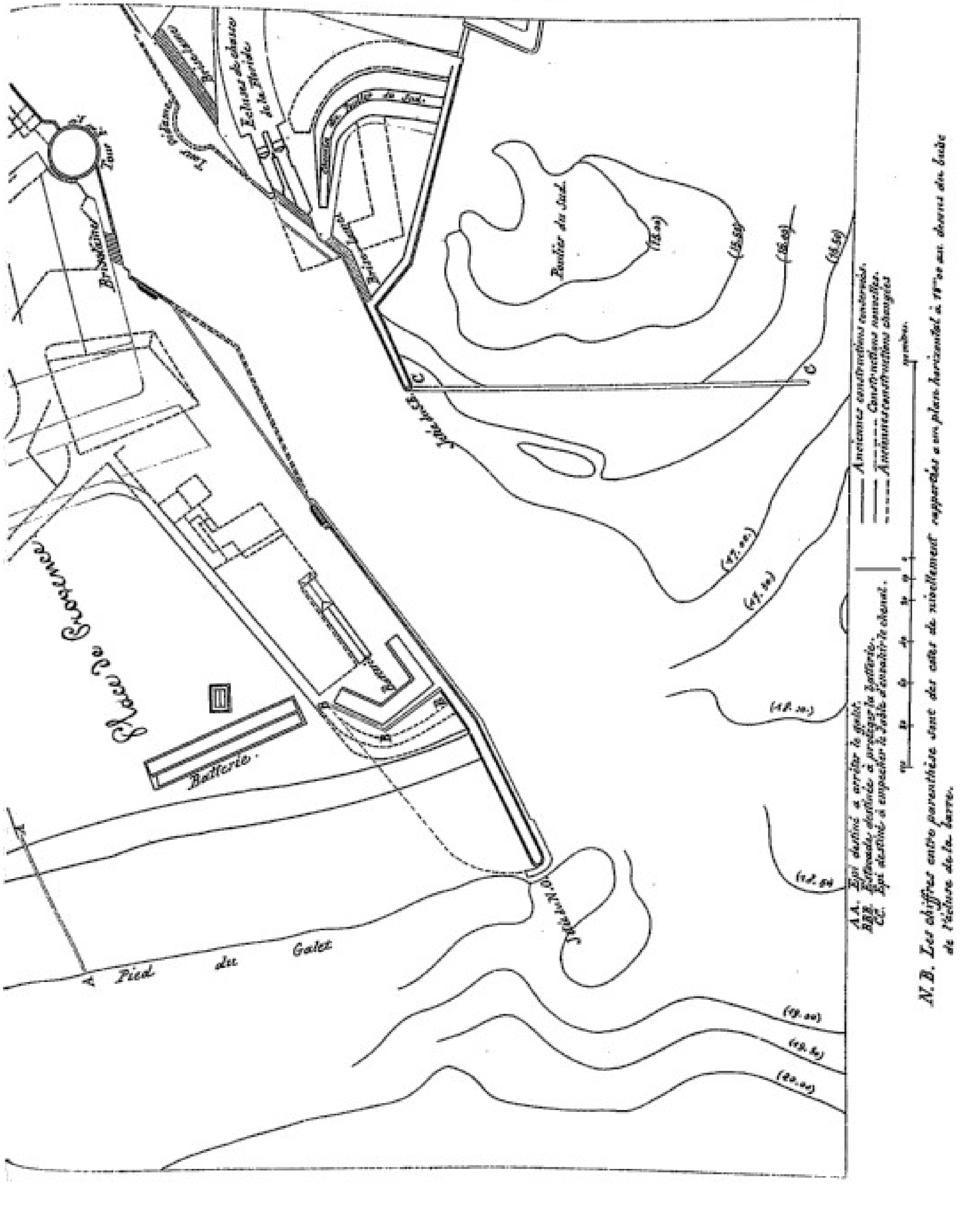

(Fig. i.)
Pl.E.
Toulon
Dispositions projetées en 1844 pour l'Agrandissement de l'Arsenal
Arsenal
Rade des Vignettes
Passe de l'Aiguillette
Digues projetées
Passe de Balaguier
Port Vendres (Fig. j.)
Marine Royale
a a Batardeaux a construire pour approfondir l'Entrée du Bassin du Commerce et creuser le bassin de la marine Royale.

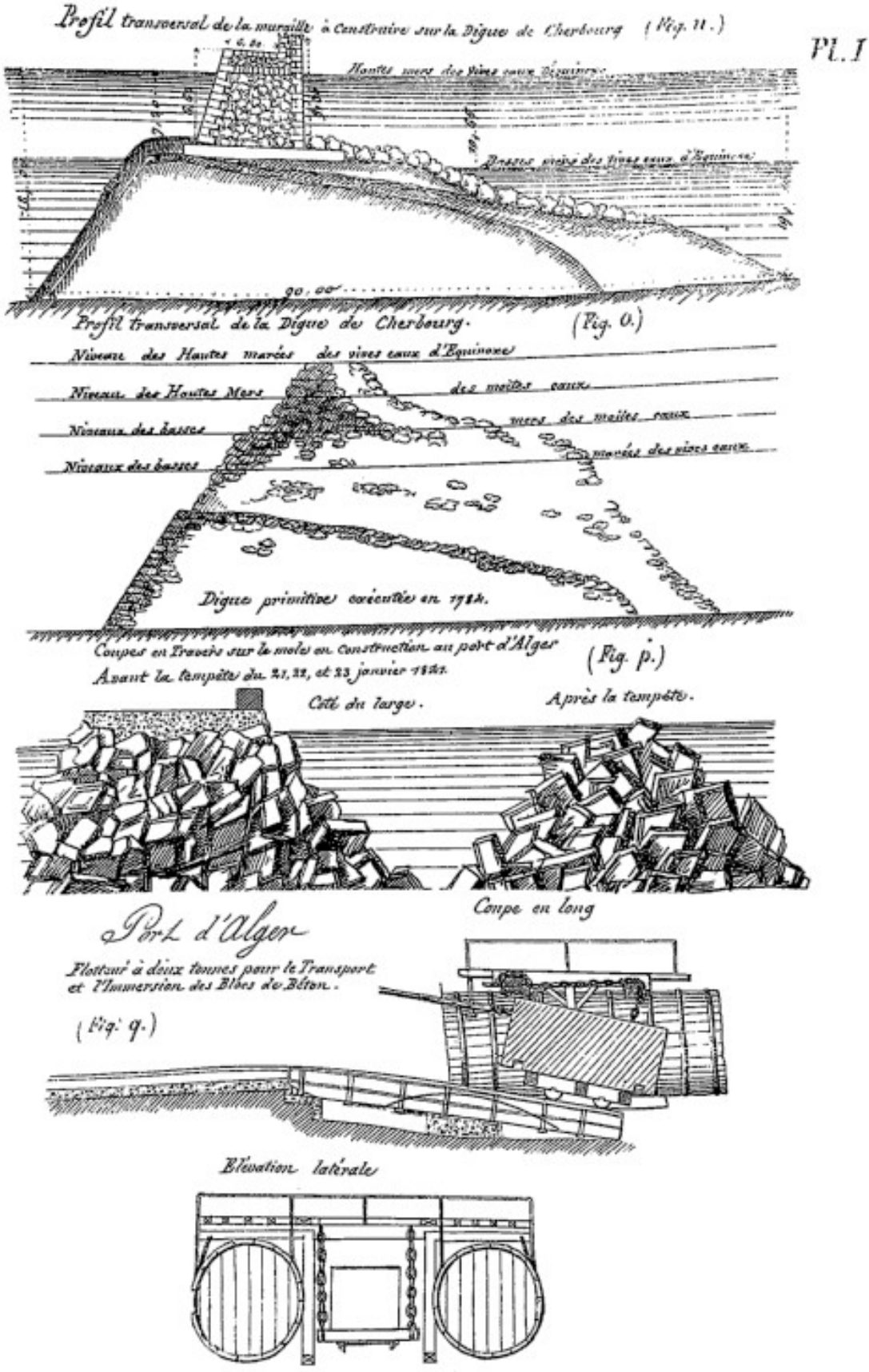

Projets relatifs au Port d'Alger
Pl. F.
Les traits fins indiquent le Tracé de Mr Poirel.
Les Gros traits celui de Mr Rang.
(Fig. K)
Direction du Cap Matifou
Fort Babazoun
(Fig. m.)
Les traits fins indiquent les Tracés proposés par Mr Raffeneau.
Les Gros traits les tracés de Mr Bernard (Projet approuvé)
Nord
Cap Matifou
(Fig. l)
Rade d'Alger
Alger
Fort Babazoun
Direction du Cap Matifou
Fort Babazoun


Pl. G.
Port de Cette
Etang de Thau
Darse
Route Royale N.o 113 de Montpellier à Cette
Chemin de fer de Cette à Montpellier
Ville de Cette
Canal
Avant Port
Ancien Bassin
Brise lame
N
Echelle de 0.01 pour 68 mètres.

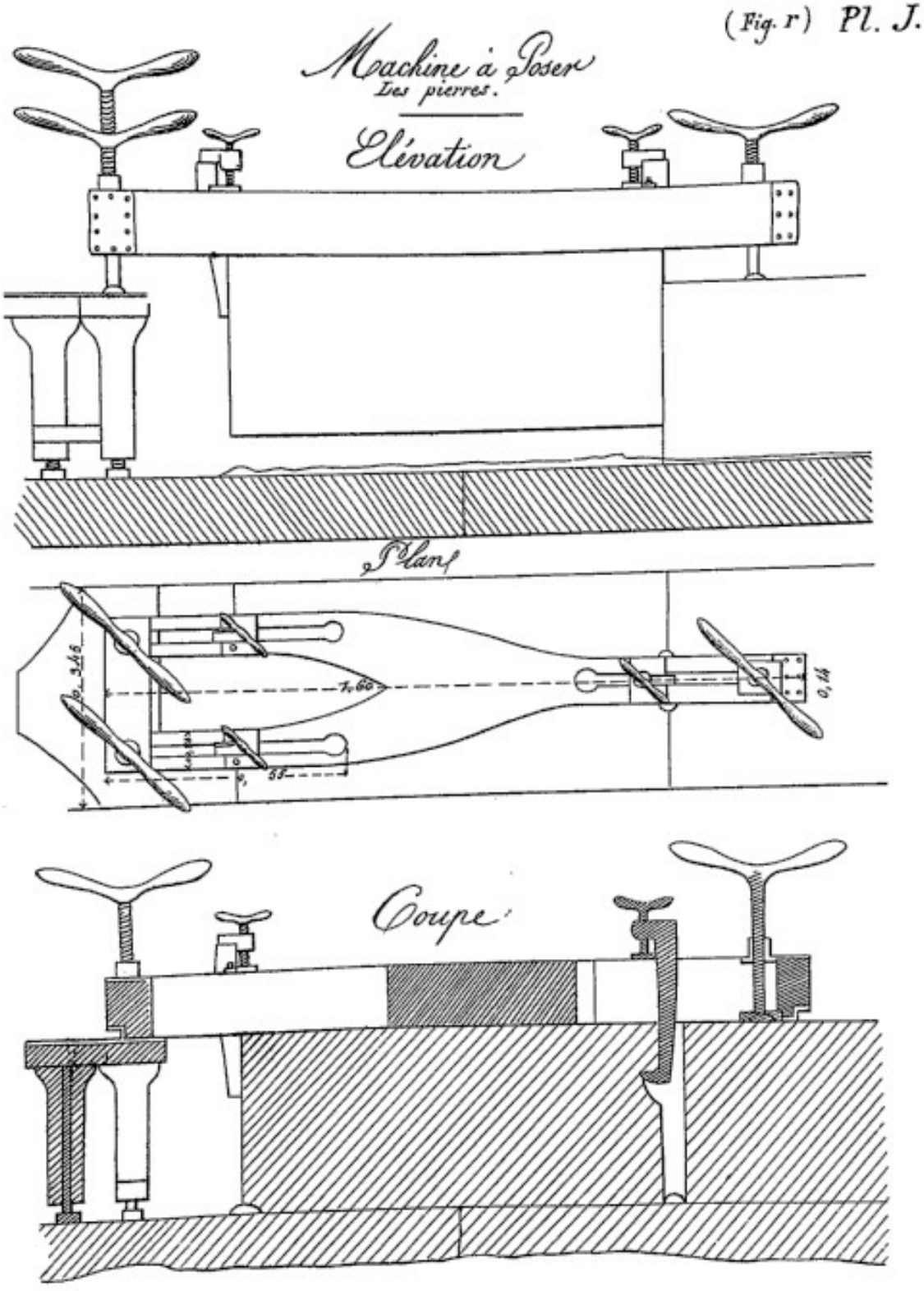
Agrandissement et amélioration du port du Hâvre.
Pl. H.
Bassin de l'Eure
Redoute Militaire
Bassin de la Floride
Avant-port
Ville du Hâvre
Légende
Anciennes constructions conservées.
Anciennes constructions changées.
Constructions nouvelles.

Agrandissement et amélioration du port du Hâvre. Pl. H. 3me



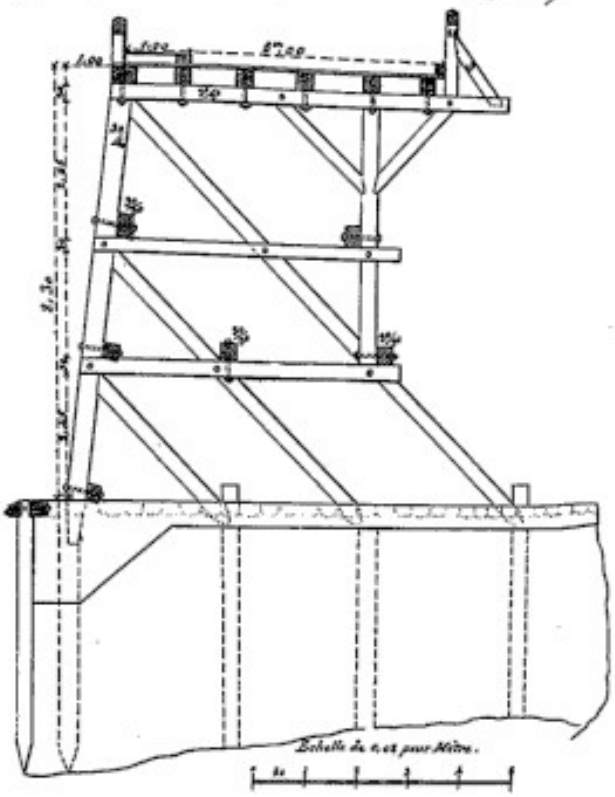

Profil transversal de la muraille à Construire sur la Digue de Cherbourg (Fig. n.)
Pl. I
Hautes mers des vives eaux d'Equinoxe
Basses mers des vives eaux d'Equinoxe
90,00
Profil transversal de la Digue de Cherbourg. (Fig. o.)
Niveau des Hautes marées des vives eaux d'Equinoxe
Niveau des Hautes Mers des moites eaux
Niveaux des basses mers des moites eaux
Niveaux des basses marées des vives eaux
Digue primitive exécutée en 1784.
Coupes en Travers sur le mole en construction au port d'Alger (Fig. p.)
Avant la tempête du 21, 22, et 23 janvier 1841.
Coté du large.
Après la tempête.
Port d'Alger
Flotteur à deux tonnes pour le Transport et l'Immersion des Blocs de Béton.
(Fig. q.)
Coupe en long
Elévation latérale

(Fig. r) Pl. J.



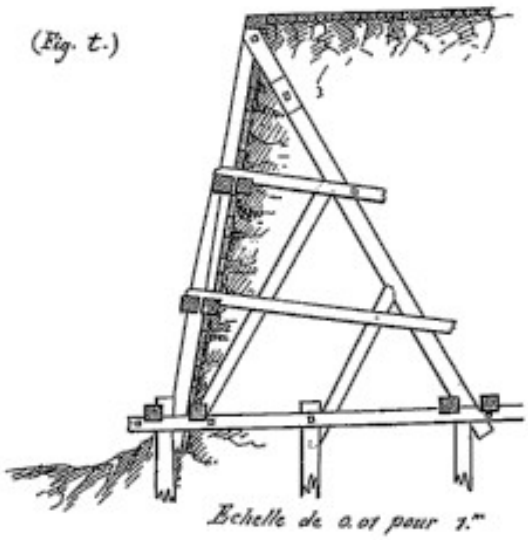
Pl. K.

Projet de Claire-voie pour le port du Hâvre (Fig. S.)



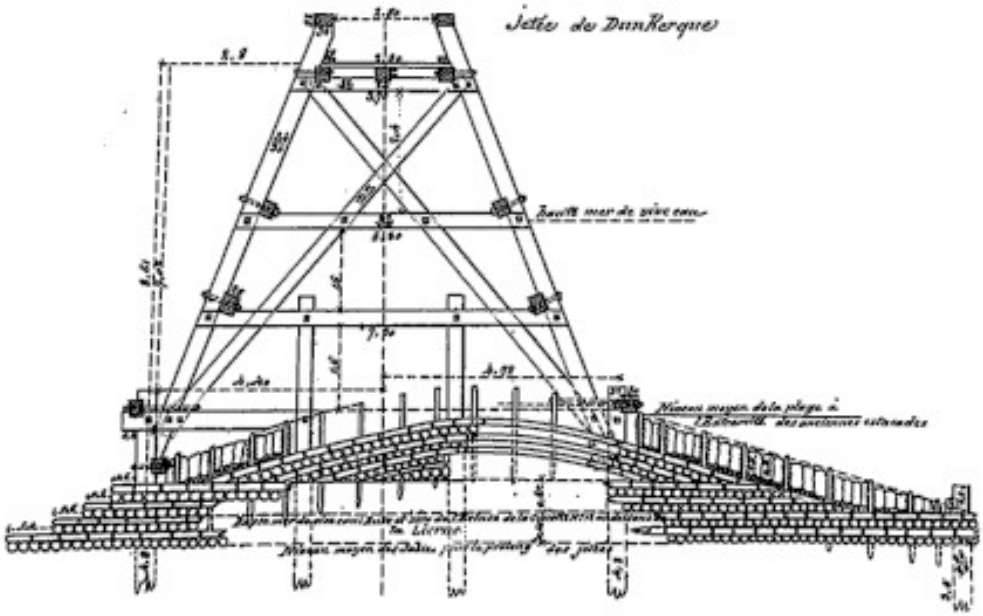

Coupe verticale d'un quai en bois.

(Fig. t.)




(Fig. u.)

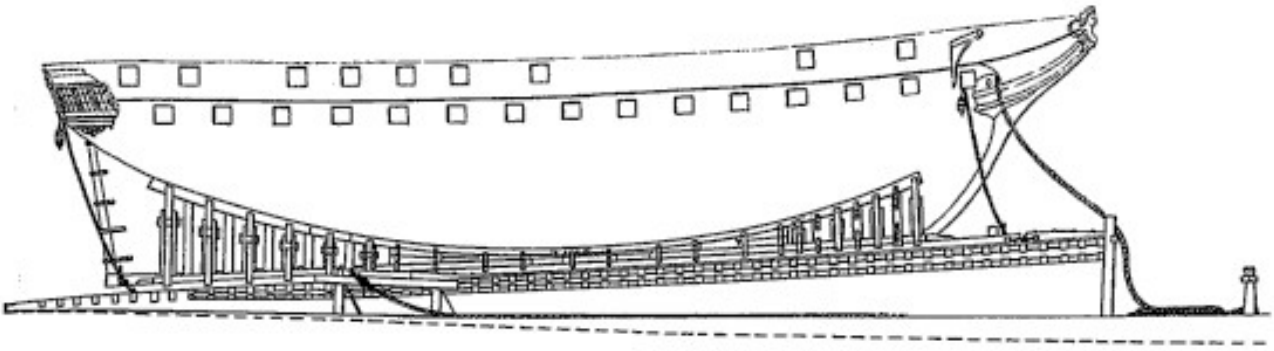
Jetée de Dunkerque



# Berceau de Lancement
Pour les Grands Bâtimens.

Pl. 1.e

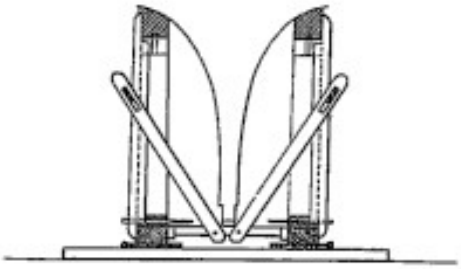
(Fig. 1.)

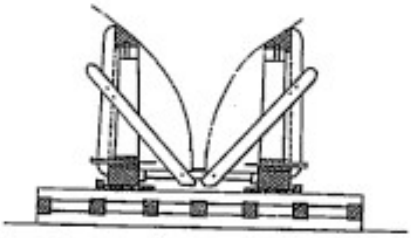


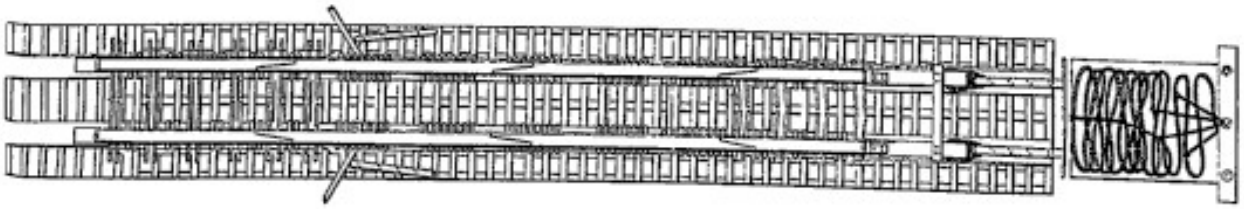
Coupe au dernier Colombier (arrière)
(Echelle triple de celle du plan.)

Coupe au premier Colombier (avant)
(Echelle triple de celle du Plan.)

(Fig. 2.)



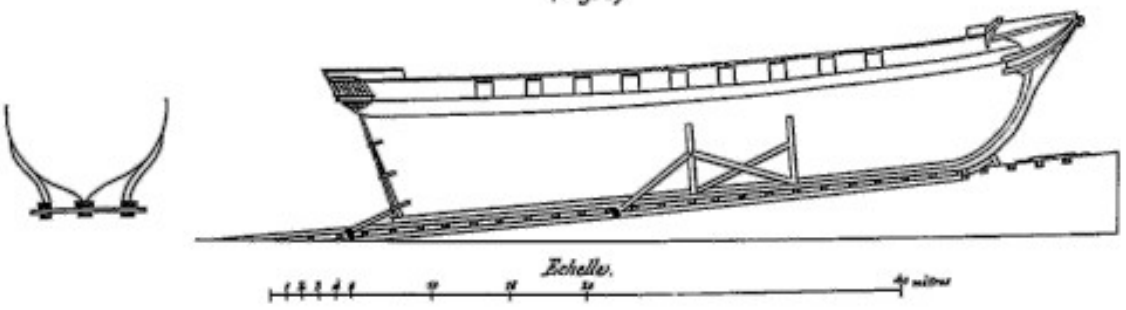




Echelle de 0,008 p.r 1 mètre

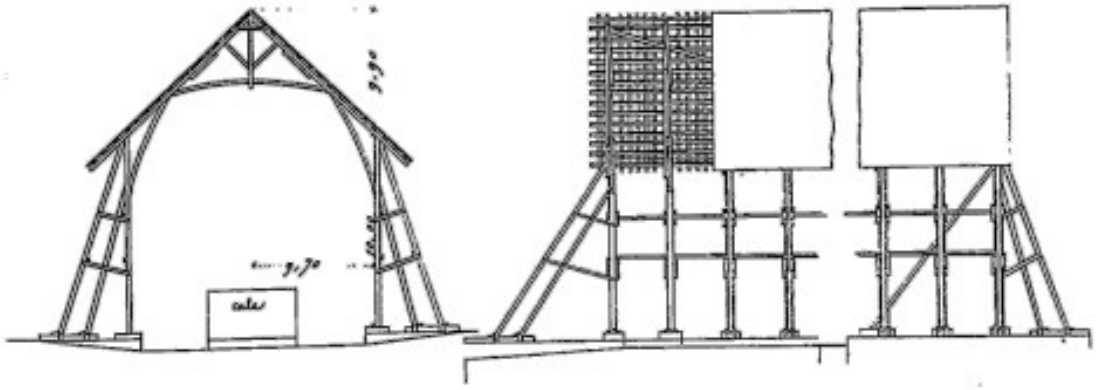
Appareil dit à Béquilles, pour la mise à l'eau des bâtimens du 2.e rang.

(Fig. 3)



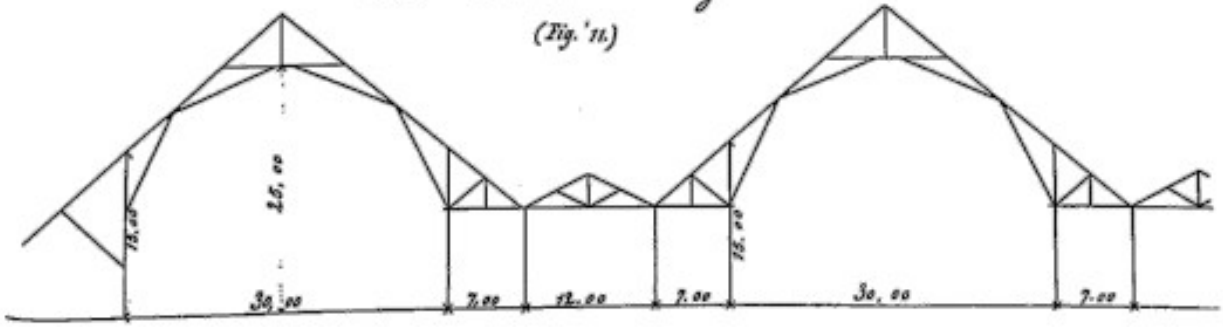

Cales couvertes de Rochefort.

(Fig. 10)

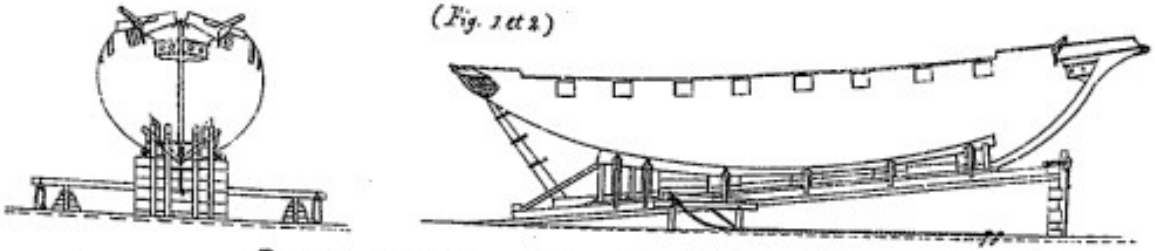



Cales couvertes d'Angleterre.

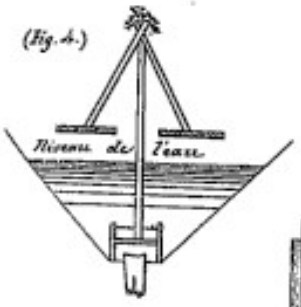
(Fig. 11)

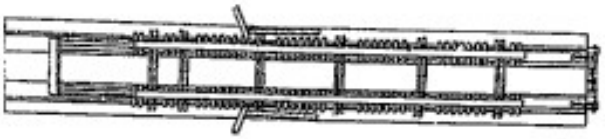


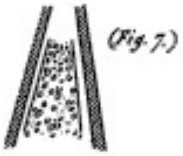
Pl. 3.e

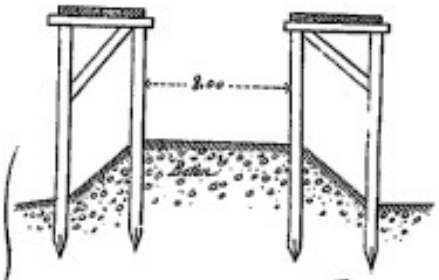


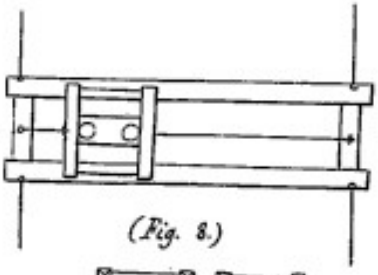

Berceau de lancement pour les Batiments légers

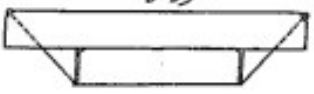


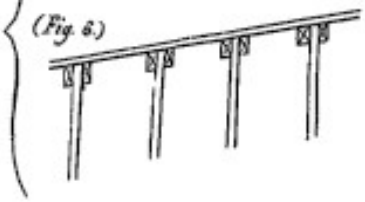



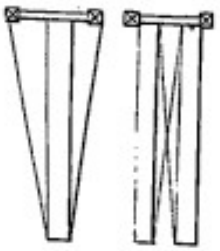


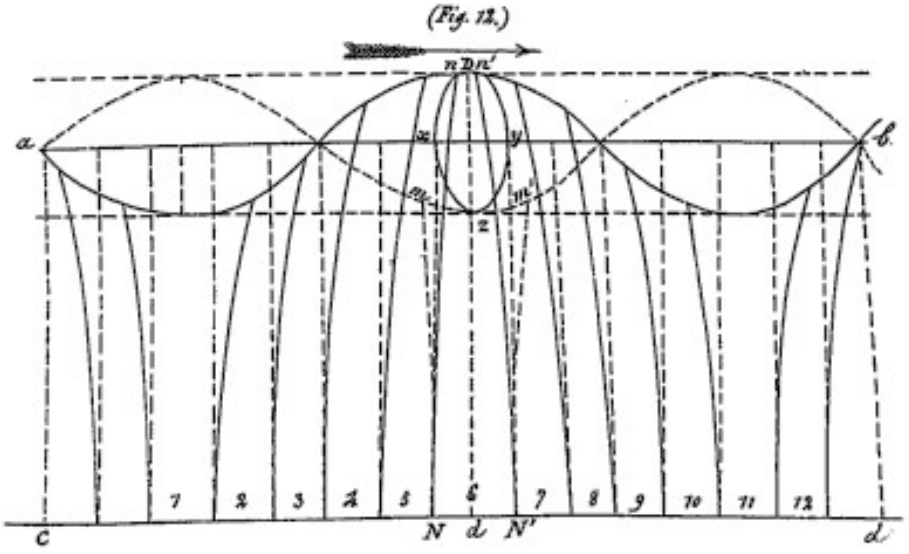


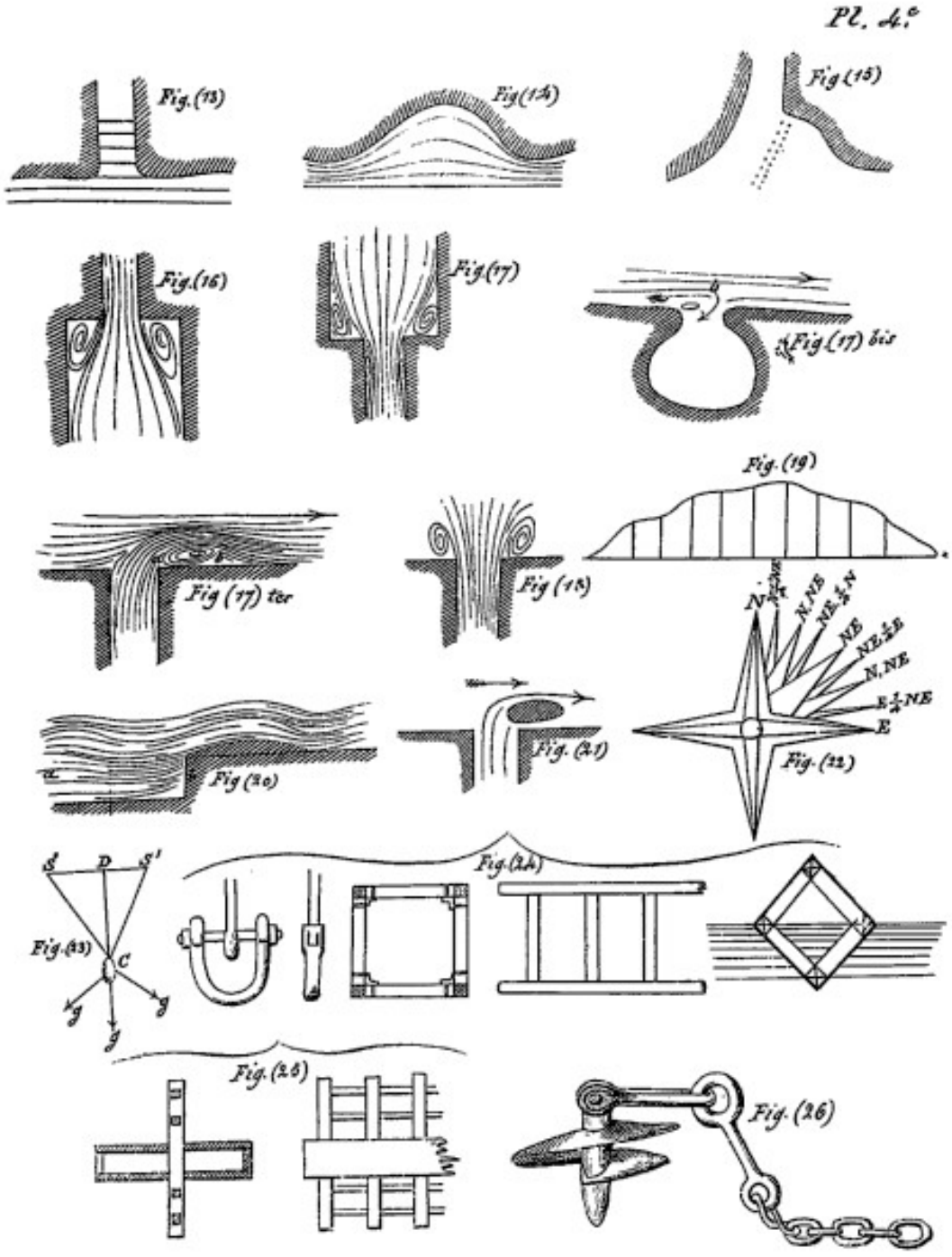





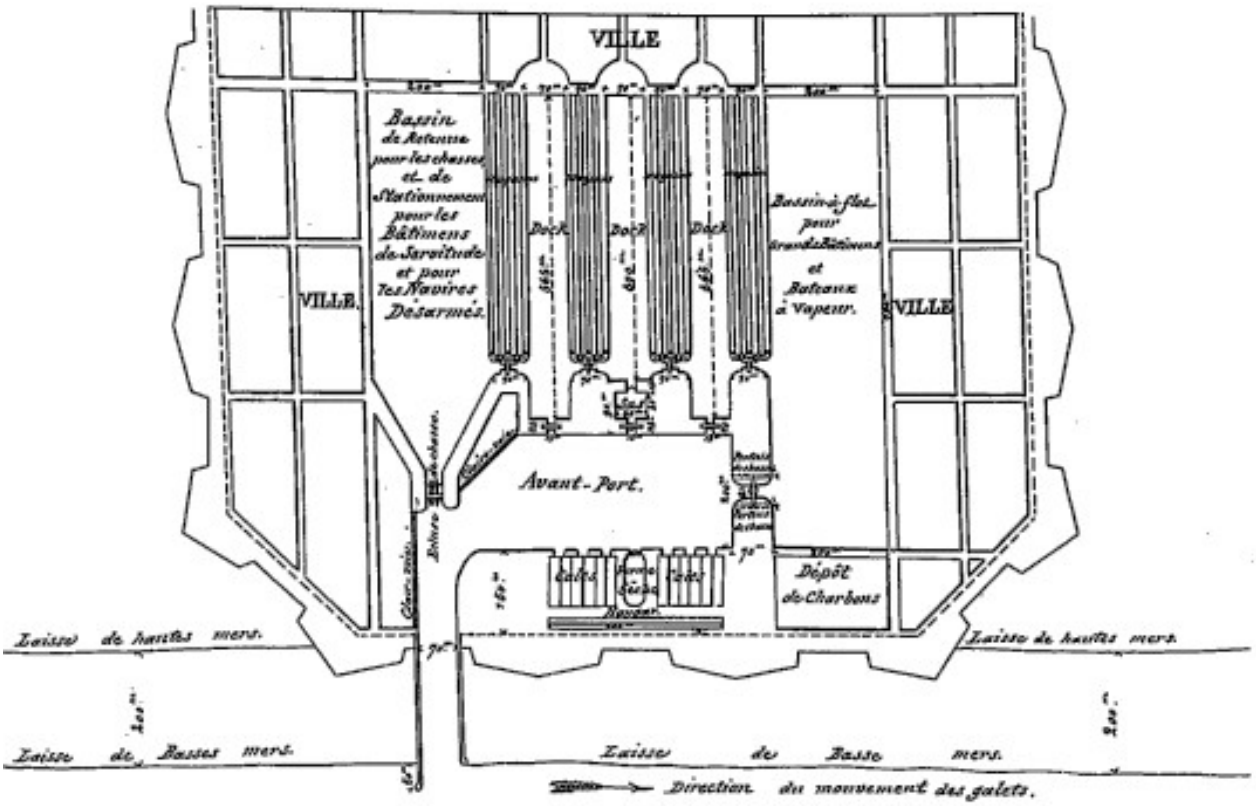




Pl. 4.e
Fig. (13)
Fig (14)
Fig (15)
Fig. (16)
Fig. (17)
Fig (17) bis
Fig. (19)
Fig (17) ter
Fig (18)
Fig (20)
Fig. (21)
Fig. (22)
Fig. (23)
Fig. (24)
Fig. (25)
Fig. (26)

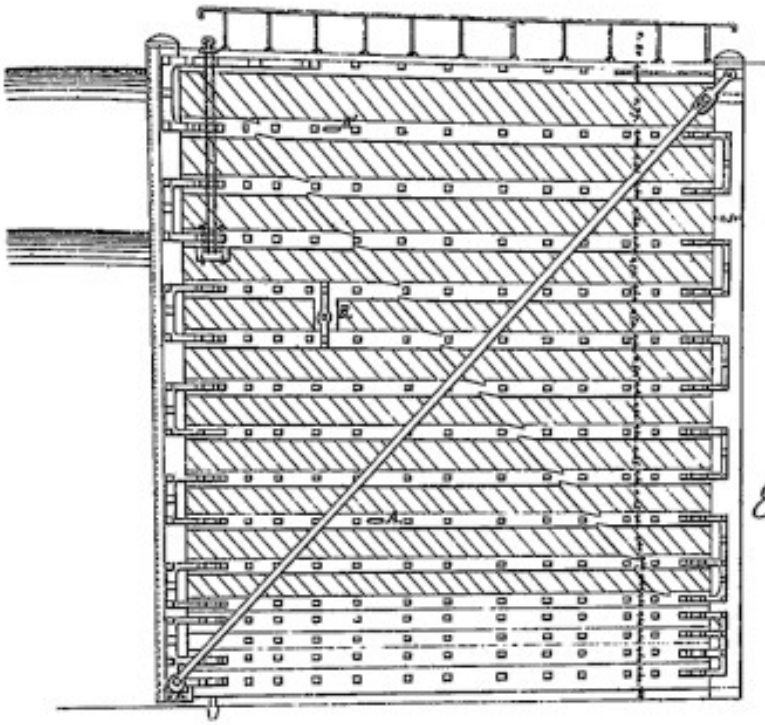
Pl. 5.e

# Dispositions Générales d'un Grand Port de l'Océan.



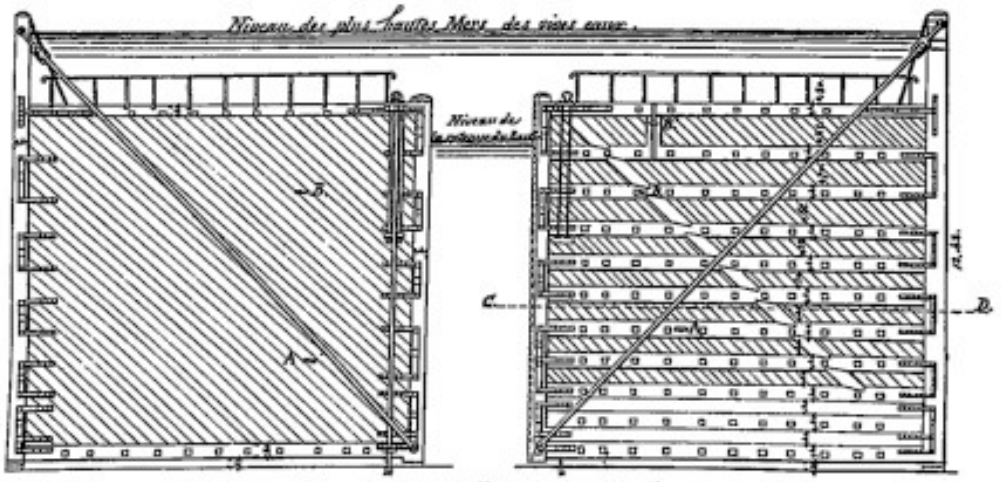
Pl. 6.

## Ventail des Portes de flot.




Portes du Bassin
à flot
Entre S.t Servan et S.t Malo.

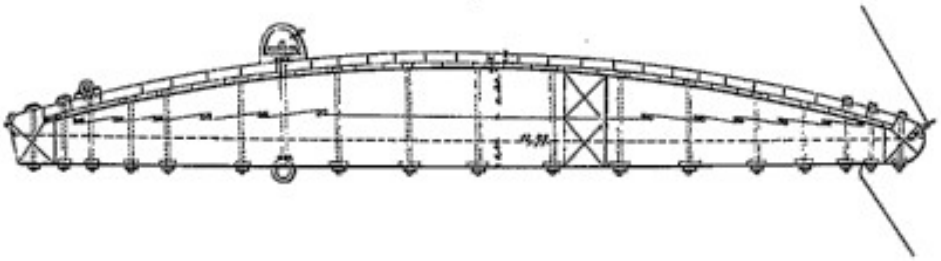
## Ventail des Portes d'Ebe.

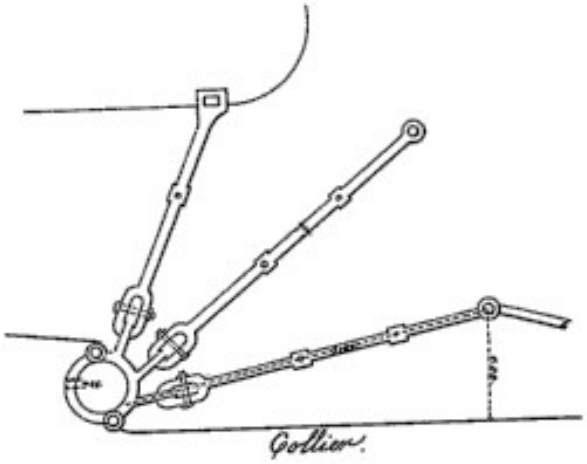



Note. A est le point d'attache des chaines d'ouverture et de fermeture inférieures.
B. est le point d'attache de la chaine d'ouverture supérieure
B' celui de la chaine de fermeture supérieure.

Pl. 7.

Coupe sur la ligne C D.



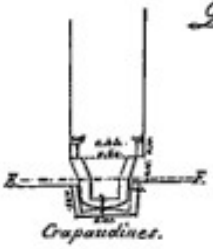


Collier.

Coupe du Collier.

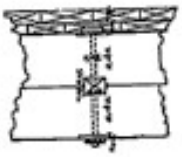
Collier

Coupe sur C H.



Crapaudinet.

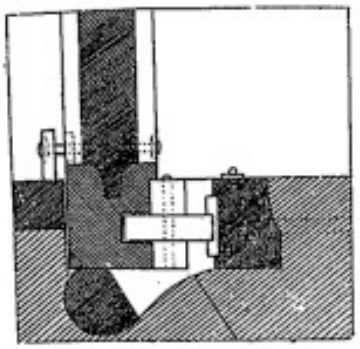
Détail d'un Boulon.



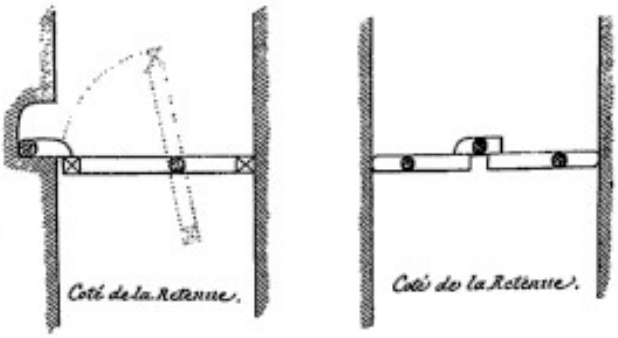
Coupe sur E F.

Plan Supérieur.

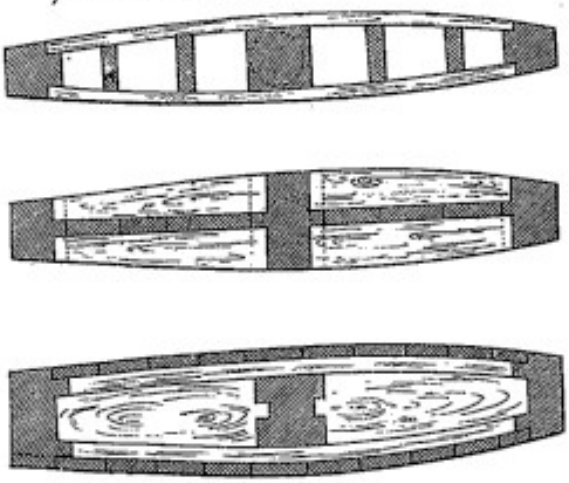
Vanne à roulettes pour les Ecluses de chasse.



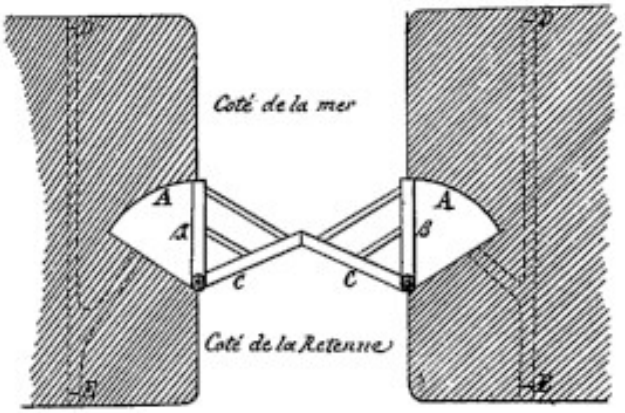
Portes tournantes



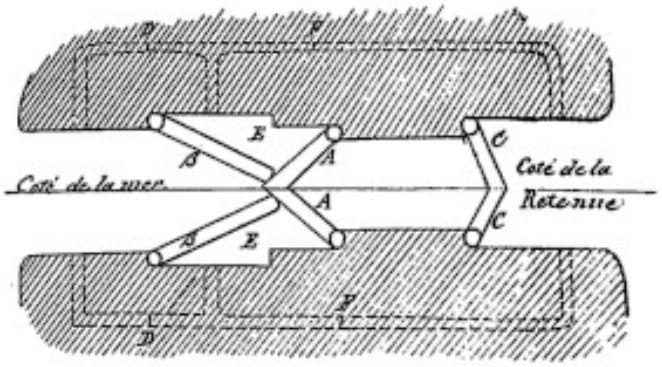

Trois systèmes de portes tournantes pour Ecluses de chasse.

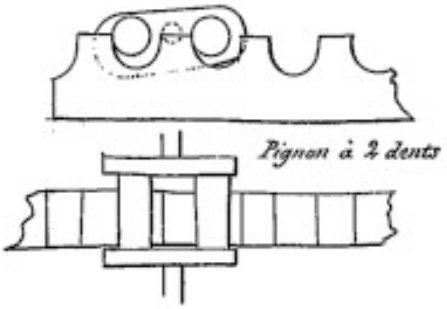


Mode de fermeture exécuté à une ecluse en Hollande.




Ecluse de Gouda en Hollande.



# Table des matières

Notes prises par les élèves au cours de construction des ports....1
Des cales....1
Des ports en général....6
Des atterrissements....13
Des rades....19
Construction des môles....22
Disposition générale d'un port....31
Bassins à flot....33
Manoeuvre des portes d'écluse....43
Des curages et des chasses....45
Moyens de fermeture des écluses de chasse....51
Bassins de radoub....54
Platins d'échouage et grils de carénage....66
Divers établissements d'un port....66
Logement des hommes....71
- Planche A....73
- Planche B....74
- Planche C....75
- Planche D....76
- Planche E....77
- Planche F....78
- Planche G....79
- Planche H....80
- Planche H bis....81
- Planche I....82
- Planche J....83
- Planche K....84
- Planche 1e....85
- Planche 2e....86
- Planche 3e....87
- Planche 4e....88
- Planche 5....89
- Planche 6....90
- Planche 7....91
- Planche 8....92